

## METODOLOGÍA PARA LA CONFECCIÓN DEL MAPA ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LOS RECURSOS MINERALES

**Mabel Rodríguez Romero**

**ONRM, Salvador Allende N0.666/ Oquendo y Soledad**

### RESUMEN

El desarrollo alcanzado por el país conduce al perfeccionamiento de la infraestructura administrativa en relación con el medio natural, mediante técnicas del Ordenamiento Territorial (OT) entendido este como la "expresión espacial de la política económica, social, cultural y ambiental de toda la sociedad con la cual interactúa, orientada al desarrollo equilibrado del territorio y a la organización física del espacio" [IPF]., categorizando las actividades desde el punto de vista de sus compatibilidades en tiempo, espacio y valor económico.

El espacio físico ha sido limitado y subordinado ante la toma de decisiones. Por lo que se hace impostergable la confección en primera instancia del Mapa de Ordenamiento Territorial para aproximarnos a objetivos mayores y poner en manos de los decisores una herramienta de programación científicamente argumentada.

La Ley de Minas (1995), estableció un marco adecuado para emprender investigaciones y controles de OT que tenga en cuenta la singularidad de los recursos minerales y la temporabilidad de su explotación. Se parte de establecer: El diagnóstico del territorio de la actividad minera y medio ambiental en el contexto del medio físico y económico; la caracterización de los RM y la definición jerarquizada del potencial geológico minero.

La metodología diseñada considera el valor documental y legal propiciado por el desarrollo alcanzado en las geociencias en Cuba y en los medios automatizados de la información para obtener el Mapa de Ordenamiento Territorial de los Recursos Geológicos y Minerales y su posterior integración al Esquema Nacional de Ordenamiento Territorial (ENOT).

### ABSTRACT

The development reached about the country leads to improvement of administrative infrastructure in relation to means natural, mediante technical of Territorial Ordenamiento (OT) understood this

Like the space "expresión of the economic, social policy, cultural and environmental of all the society with which it interacts, oriented to development balanced of the territory and to the organization physics of espacio" [ PROTC ]., categorizando the activities from point of Vista of its compatibilities in time, space and value economic.

The physical space has been limited and subordinated before takings of decisions. Reason why the preparation becomes urgent in first instance of the Map of Territorial Ordering stops to approximate us a greater objectives and to put into the hands of decisores one tool of programming scientifically argued.

Law of Mines (1995), establishes an suitable frame stops to undertake investigations and controls of OT that it considers singularity of the mineral resources and la temporabilidad of his operation.

Part to settle down: I diagnose of the territory of activity miner and environmental means in the context of the average physicist and economic; characterization of the RM and definition hierarchized of potential geologic miner.

The designed methodology considers the value documentary and legal caused by the development reached in the geosciences in Cuba and in the means automated of the information to obtain the Map of Ordering Territorial of the Geologic and Mineral Resources and his later integration to the National Scheme of Territorial Ordering (NSTO).

## INTRODUCCION.

Se reconoce de forma general en el Programa Ramal de Ordenamiento Territorio (PROTC), el papel limitado y subordinado del espacio físico ante la toma de decisiones donde se han privilegiado propuestas sectoriales con escasa o ninguna consideración de las especificidades territoriales y sus interrelaciones, con todas las consecuencias que de ello se deriva a pesar del esfuerzo de los últimos 40 años de Planificación Física en Cuba. Por ello ante la evidencia de necesidades condicionadas por el desarrollo socioeconómico-cultural y ambiental del país, este esfuerzo aspira a concretarse en un proyecto de integración en la que una de sus salidas pasa por el Ordenamiento Territorial de los Recursos Geológicos y Minerales (OTRGM).

El presente trabajo constituye una aproximación al proyecto de Ordenamiento Territorial de los Recursos Geólogo- Mineros (OTRGM) del territorio cubano y para lograr este, nos planteamos como primer objetivo la confección del MAPA de ORDENAMIENTO TERRITORIAL GEOLOGO-MINERO.

El OTRGM se encuentra en plena correspondencia con la definición dada en el PROTC para el OT como "la expresión espacial de la política económica, social, cultural y ambiental de toda la sociedad con la cual interactúa, orientada al desarrollo equilibrado del territorio y a la organización físicas del espacio" y cuenta como herramienta con la voluntad política, el grado de estudio geológico alcanzado y el desarrollo de nuestras posibilidades informáticas.

## ANTECEDENTES

En Cuba en la esfera geólogo minera, desde la etapa colonial y pseudo republicana después, se iniciaron y continuaron estudios geológicos y operaciones mineras. Con el triunfo revolucionario se intensificaron las investigaciones geológica tanto de carácter sinóptico como detalladas que condujeron a una proliferación de objetivos mineros, sobre todo en el campo de los materiales de construcción que estuvieron fuera de toda legislación y consenso hasta 1995 en que se aprueba la Ley 76, Ley de Minas. Comenzó entonces todo un proceso de actualización y reconocimiento de todos los derechos mineros y la regularización para su otorgamiento que es antecedido por el proceso de micro localización (Decreto 21 de Planificación Física). El proceso de otorgamiento, entre otras condicionantes transita por un sistema de compatibilizaciones con los intereses socio-económicos, ambientales y de la defensa del país, en lo que pudiera considerarse la estructura, aunque primitiva, de un cierto ordenamiento que no es tal, en tanto se vea condicionada a una ocupación previa del espacio físico y no a una programación equilibrada del territorio en la organización física del espacio y su interacción con el medio ambiente analizado de conjunto, que es la fundamentación básica de cualquier proyecto de este tipo.

El hecho de que en Cuba se haya realizado la cartografía geológica de todo su territorio nacional a escala 1: 250 000 y 1:100 000 y una cartografía a escala 1:50 000 que incluía la prospección 1.25 000-1.10 000 en mas del 50 % de su territorio, la coloca en una situación favorable del conocimiento de su estructura geológica y pronostico de sus recursos minerales sólidos y aguas minero-medicinales.



## PLANTEAMIENTO

La labor de un plan de Ordenamiento Territorial consiste, por una parte, en optimizar el uso del territorio, adecuando las nuevas actividades que se generen en concordancia con la capacidad de acogida del mismo, categorizando las actividades desde el punto de vista de sus compatibilidades en tiempo, espacio, valor económico y connotación ambiental. Siendo esta categorización, por otra parte quien le imprime un carácter dinámico, que lo convierte en herramienta de trabajo de los decidores a cargo y lo distinguen a su vez de un plan de ordenamiento físico, como pudiera entenderse del ordenamiento catastral de los sistemas de concesiones.

Si tratamos, como es nuestro caso del OT de los Recursos Geológicos y Minerales entonces uno de los primeros objetivos a cumplir será obtener toda la base documental y grafica de los mismos. Las ocurrencias minerales se encuentran donde están obedeciendo solo a la ley natural de su existencia en armonía con su entorno ambiental en tanto no la usemos para provecho social a través de los trabajos mineros, momento en que los RM son integrados al mundo de nuestras necesidades materiales, siendo entonces necesario minimizar para bienestar de la sociedad actual y futura los posibles impactos al medio natural mediante una explotación racional, técnicamente sustentable, que contemple también la temporabilidad de las actividades mineras en el uso del suelo y la posibilidad de este de otros usos coincidentes o no con dicha actividad.

## MARCO LEGAL

Actualmente y desde 1995 la Ley 76, Ley de Minas y su Reglamento rigen la actividad Geólogo Minera del país y es la Oficina Nacional de Recursos Minerales del Ministerio de la Industria Basica, la autoridad minera que controla y fiscaliza su aplicación

En Cuba, la Ley de Minas, art.13, clasifica los recursos minerales en 5 grupos, G I, Minerales no metálicos (materiales de construcción, minerales para la industria y otras ramas de la economía, incluyendo las piedras preciosas y semipreciosas); G II, Minerales Metálicos (metales preciosos, ferrosos, no ferrosos y minerales acompañantes metálicos o no metálicos); G III, Minerales portadores de energía; G IV, Aguas y fangos minero medicinales (aguas minero-medicinales, minerales naturales, termales y fangos minero medicinales); GV, Otras acumulaciones mineras, (residuos útiles para el aprovechamiento de algún componente, tales como colas, escombreras y escoriales. Todas las acumulaciones minerales y demás recursos geológicos no relacionados en los grupos anteriores).

Nuestra Ley de Minas tiene como objetivo (Art. 1) establecer la política minera y las regulaciones jurídicas que garanticen la protección, el desarrollo y el aprovechamiento racional de los recurso minerales en función de los intereses de la Nación.

Al Estado (art.4) le corresponde el dominio inalienable e imprescriptible del subsuelo, las minas y todos los recursos minerales donde quieran que estos se encuentren, dentro de las regulaciones constitucionales y entre sus disposiciones finales (tercera) se expresa que Corresponde al Ministerio de Ciencias Tecnología y Medio Ambiente, en su carácter de organismo encargado de dirigir y controlar la política encaminada a garantizar la protección del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales, regular, evaluar y aprobar, cuando proceda, las actividades del impacto ambiental requeridas para la ejecución de las concesiones mineras, así como establecer, supervisar y exigir el cumplimiento de las disposiciones

ambientales establecidas para la actividad, lo cual incluye la realización de inspecciones estatales ambientales y la aplicación de las sanciones previstas en la legislación vigente.

Las áreas mineras reservadas también han quedado protegidas por la Ley de Minas, que en su art. 70 expresa: El Consejo de Ministro y su Comité Ejecutivo es el órgano competente para declarar las áreas mineras reservadas y en consecuencia el único encargado de autorizar en dichas zonas otras actividades ajenas a los geológicos y mineros y define las áreas mineras reservadas como zonas que por su perspectiva evidente de concentraciones de minerales sea conveniente preservar, limitando la realización de actividades ajenas a las geológica o mineras que puedan dañar la ejecución del propósito minero para el cual se preserve dicha área.

La Ley de Minas, su reglamento y la Ley del Medio Ambiente, constituye junto a la voluntad política del estado expresado en el Programa Ramal de Ordenamiento Territorial para Cuba. (PROTC) las herramientas fundamentales, para materializar el principio de integración necesario en el manejo del ordenamiento territorial geologo –minero y que realmente pueda concretarse en una acción de consulta obligatoria y practica común de los organismos administrativos del estado cubano.

## **LOS RECURSOS GEOLOGO-MINEROS, EL PATRIMONIO GEOLOGICO, CIERRES DE MINA Y EL OTRGM.**

Los recursos minerales, son parte de las bondades que el medio natural ofrece, su Ordenamiento Territorial debe considerar todo el proceso de investigaciones geológicas desde los estadios de prospección hasta la explotación, tomando también en cuenta los aspectos patrimoniales, (localidades tipo, áreas mineras reservadas, afloramientos únicos. etc.)

El grado de estudio geológico alcanzado en Cuba, ha generado una cuantiosa y valiosa información archivada y custodiada con celo por el archivo técnico de la ONRM mediando cuando ha sido solicitado, una cláusula de confidencialidad con las empresas o compañías prospectoras nacionales o no que han operado en el país a través de los años. Pero no ha sido hasta muy reciente que se ha iniciado el proceso de automatización de la informatización, creándose por parte del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) con el coaspcio de la ONRM, el sistema de Bases de Datos, GEODATO, soporte de toda la información geológica y minera del país propiciándose la posibilidad de aplicación de Sistemas de Información Geográficos que facilite la obtención de documentos gráficos de trabajo y la aplicación de criterios discriminatorios de forma automatizada que por otra parte conlleva la factibilidad de la constante actualización.

Cuba no es un país con gran potencial para la minería metálica, pero destaca la minería del Níquel y la de Minerales No Metálicos, la primera polarizada por el momento hacia la región oriental del país y la segunda de amplia difusión en todo el territorio nacional dadas las características geológicas del Archipiélago Cubano, lo que permite un análisis de alternativas de ubicación de las posibles extracciones en función del grado de compatibilidad con otros usos de los recursos naturales y con la protección ambiental. Siguiendo a su vez criterios técnico-económicos (mineros, ambientales, transporte, demanda).

Cuba no fue ajena a la proliferación de pequeñas canteras que unidas a labores mineras antiguas conforman un importante numero de pasivos mineros en los que no siempre fueron agotados los recursos para los que fueron explotados ya sea por que fueran estudiados hasta un cierto limite de recursos, por condiciones de mercado, o por dificultades en su tecnología de

beneficio que limitaron su viabilidad económica entre otras, y que deberán ser considerados en uno u otro caso en el análisis del potencial geólogo minero del territorio bajo análisis.

Hay otras dos realidades insoslayables a tener en cuenta durante el OTRGM y estas son, la situación de degradación que se pueden provocar con carácter irreversible, si no se cumplen las medidas fundamentales de restauración prevista en la Licencia Ambiental y en el Proyecto Minero aprobado, durante e inmediatamente posterior a las actividades de cierre de las operaciones y la concientización de que las operaciones mineras deben ser consideradas temporales y no de compromiso permanente de los terrenos que ocupa, por lo que estos deben ser reacondicionados para lograr la compatibilidad entre el desarrollo económico, la conservación del medio ambiente y el bienestar de la comunidad minera, dejando atrás el acomodaticio concepto de "paisaje minero" como aceptación de un mal imponderable.

## METODOLOGIA

Los objetivos de un estudio para el análisis del OTRGM van mas allá, de la definición de zonas a las que se les define su potencial geólogo-minero, expresado en función de la capacidad del territorio para desarrollar una actividad extractiva racional, económica y sustentable. Pero si, incuestionablemente, tal definición constituye su primera premisa y se materializa con la confección del MAPA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL GEOLOGO MINERO donde se definen y delimitan, áreas explotables con diferentes niveles de prioridad y categorización de ordenamiento con alcance a nivel de país, transitando el ordenamiento desde el nivel municipal y provincial. Las escalas de trabajo se adecuaron a cada circunstancias desde 1:25000 y mas pequeñas de ser necesario a 1:100 000.

Para abordar los tareas que den respuestas a este objetivo inicial, se establecen 4 etapas y 5 grupo de trabajo conformados por los inspectores estatales de los territorios de: Moa, Santiago de Cuba, Camaguey, Villa Clara, y el grupo coordinador de la ONRM que cubrirán todo el territorio nacional haciendo uso de la herramientas citadas anteriormente, (voluntad política; marco legal adecuado; grado de estudio; SIG).

### **Etapas I**

Recopilación y documentación de información y materiales básicos de trabajo. Confección (creación y/o interfases con el sistema GEODATO) de Bases de Datos. Proyecto SIG. Análisis de la situación actual de los estudios geológicos y de la actividad minera; su impacto medioambiental en el contexto del medio natural, socio-económico y cultural.

Resultado: Obtención de la cartografía temática (mapa geológico, hidrogeológico, de depósitos minerales -yacimientos, prospectos, ocurrencias y manifestaciones- concesionados o no, pasivos mineros-; áreas protegidas por el CITMA, áreas mineras reservadas, uso del suelo, urbanístico, vialidad, programas de desarrollo de la infraestructura territorial ,otros).

ANALISIS SIG ➡ Mapa del compromiso geólogo-minero actual. (MCGM)  
Mapa de conflictos (Relación entre el MCGM / otros usos simultáneos)

### **Etapas II**

Caracterización geólogo- económica- tecnológica de los recursos minerales del territorio a ordenar. (Usos, características tecnológicas, cantidad, condiciones técnico-mineras, particularidades del entorno territorial, se identifican sus problemas, demanda, capacidad de producción, industria consumidora). Selección de criterios de valoración.

ANALISIS SIG → Mapa de Georecursos.  
Mapa de Restricciones. (ambientales, riesgo geológico, geográficas)  
Mapa de Potencial Geólogo Minero

### **Etapas III**

Sectorización de las áreas:

ANALISIS SIG → Áreas aptas a la explotación minera. (A corto, largo y mediano plazo)

Área de explotación/investigación sujeta a condiciones o con zonas de protección comprometidas con otros usos.

Áreas excluidas a la explotación minera (zonas de seguridad, incompatibles)

### **Etapas IV**

Edición del Mapa de Ordenamiento Territorial Geólogo-Minero para su integración en el Esquema Nacional de Ordenamiento Territorial.  
Memoria.

## **CONCLUSIONES**

El nivel actual de la sociedad cubana, impone actuaciones impostergables que permitan consolidar y potenciar su infraestructura, una de ellas es la materialización del Esquema de Ordenamiento Territorial y como parte del, el OTRGM.

El primer objetivo a cumplir en el OTRGM será la conformación del Mapa de Ordenamiento Territorial Geólogo-Minero y su posterior integración al Esquema Nacional de Ordenamiento Territorial (ENOT).

La presentación del mapa de OTRGM proporcionara la documentación científicamente argumentada y suficientemente graficada para la toma de decisiones en el emprendimiento de futuros trabajos a corto, mediano o largo plazo dirigidos a la prospección y explotación de los depósitos minerales dentro del contexto del medio físico y su entorno medio ambiental. Pudiendo controlar los índices de sostenibilidad del territorio que se analice y compatibilizar los intereses económicos y medioambientales del país en su desarrollo global con un alto índice de previsión que evite conflictos de organización territorial y de degradación al medio.

## **BIBLIOGRAFIA**

IPF, 2003, Ficha Proyecto Ramal Ordenamiento Territorial. La Habana  
Ley de Minas, 1995, Gaceta Oficial de la Republica de Cuba.



## VALORACION DE ACTIVOS MINEROS Y SU RELACION CON LOS PROCESOS INVERSIONISTAS Y EL PAGO DE ROYALTIES EN LA INDUSTRIA MINERA.

**Ing. Jorge Cruz Martín**, Ing. Luis de la Cruz Hurtado

**Oficina Nacional de Recursos Minerales, Salvador Allende 666, Centro Habana, Ciudad Habana, Cuba. C. Eléct.: [chichi@onrm.minbas.cu](mailto:chichi@onrm.minbas.cu) Telef: 878 3885**

### RESUMEN

Las evaluaciones económicas de activos mineros representan sin duda alguna una de las etapas mas importantes en las inversiones de explotación de yacimientos de minerales útiles, para ello existen un sinnúmero de formas, metodologías e inclusive acuerdos entre las partes negociadoras, por lo que se hace necesario conocer sus elementos básicos, objetivos, intereses, motivaciones, etc. Estas cada día ocupan un mayor espacio en todas las fases de investigación geológica.

Resulta de vital importancia que los especialistas cubanos conozcan estas técnicas y dominen sus interioridades para que desde el momento de proyectar cualquier trabajo de investigación, desde sus etapas más tempranas, se realicen de forma racional, ya que si partimos de la idea que todas las investigaciones geológicas son a riesgos y conocemos que en mucho de los casos estos gastos se convierten en reembolsables en la etapa productiva podemos cometer grandes errores y convertir a yacimientos atractivos en no viables económicamente.

El presente trabajo mostrará las diferentes formas de evaluación, el análisis de las diferentes particularidades que poseen los yacimientos, entre otros aspectos. De todo esto se desprende la necesidad imperiosa que posee el País de conocer el valor de Nuestro Patrimonio Geólogo Minero y entre sus conclusiones se plantean propuestas concretas para desarrollar un programa a corto – mediano plazo, que incluiría en una primera etapa los yacimientos más representativos e importantes y en una segunda etapa aquellas materias primas que poseen una demanda creciente y con un Mercado seguro en los próximos años.

Se muestra, además, una panorámica de el proceso negociador de activos mineros, objetivos y particularidades de las partes involucradas en el proceso. Se realiza una síntesis y análisis de los royalties, conceptos y formas de cálculos, así como otros datos de interés.

### ANTECEDENTES.

En el 15 de febrero año 1982 entro en vigor el Decreto de Ley 50, mediante el cual se crea una Comisión que autoriza la constitución de Asociaciones Económicas Internacionales, convertido en Ley de Inversiones en 1995, comenzó una apertura a las inversiones foráneas, siendo la rama Geólogo Minera uno de los mayores exponentes de dichas inversiones.

Con la desintegración de la URSS y el Bloque Socialista, así como los tratados de ayuda mutua, muchas de las inversiones del Sector quedaron paralizadas y otros yacimientos que estaban en producción y estratégicamente eran necesarios, se mantuvieron con producciones limitadas y controladas por los suministros de insumos y combustibles.

Con esta disyuntiva comienza un flujo de innumerables solicitudes por parte de Compañías Juniors y otras mayores, con experiencias en la investigación y extracción de minerales en las áreas de Minería y Geología, firmándose los primeros contratos de Asociación Económica Internacional (AEI) y Empresas Mixtas (EM), primeramente con una participación 50%-50%, donde el socio extranjero, aportaba principalmente el capital para las investigaciones y el desarrollo de los mismos y la parte cubana el Valor de sus Activos y es precisamente en ese momento donde se impuso la necesidad imperiosa de valorar los activos que entraran en negociación usando para ellos mecanismo y métodos que fueran reconocidos por los socios extranjeros, así como la preparación de los técnicos cubanos que participarían en los mismos. (Jorge Cruz Martín y otros Criterios sobre las estadísticas de gastos de las etapas de investigación geológica de Cuba y su comparación con otros países.1998).

De forma empírica se realizan algunas valoraciones, como son los casos de Hierro Mantua y Oro Delita, para citar algunos de ellas, constituyéndose sendas EM para la producción de oro,





pero no fue hasta 1996 que se organizó un curso en la Escuela de Cuadros del MINBAS con un profesor canadiense, Director de una de las Compañías que se dedican a este trabajo en Toronto, que se obtienen las primeras experiencias del trabajo de Valoración de Activos Mineros mediante el uso de Metodologías aprobadas por las Bolsas de Valores y comúnmente utilizadas por aquellos países que se encontraban ya operando dentro del Territorio Nacional.

En 1997 se crea un grupo para acometer dichos trabajos, teniendo como resultado la valoración de todos aquellos activos negociados por la UGM hasta el presente, en el año 1999 se incluye en el Convenio de Colaboración Cuba – Brasil y se realiza un Proyecto que mediante el nombre de **Evaluación Económica de Activos Mineros** se desarrollo entre los años 2000 – 2003, teniendo como principal resultado la valoración de 15 activos mineros cubanos de diferentes materias primas, así como el desarrollo de metodologías internacionales aplicadas a nuestros yacimientos y reconocidas por instituciones brasileñas y de otros países.

Por otra parte fue necesario crear una **nueva Clasificación de Recursos y Reservas** (ONRM 1999), dándole un mayor peso económico a las reservas y crear una clasificación acorde con las tendencias de la industria y las expectativas.

Es beneficioso señalar que: Las perspectivas de la industria minera son las mejores en muchos años, las preocupaciones sobre riesgos las inversiones en exploración y operación se fueron disipando a medida que avanzaba el año 2003 y los precios de los metales empezaban a repuntar, ejemplo, a fines del 2003: el precio del oro se acercaba a su máximo valor en siete años, poniendo a prueba la sostenibilidad del nivel de US\$400/oz, el cobre se disparó superando el valor récord de US/2000/t correspondiente al año 2002, el níquel alcanzó niveles estratosféricos, nunca vistos en los últimos diez años. La importancia de este saludable nivel de precios para las ganancias de corto plazo de las empresas mineras establecidas es, por cierto, evidente y directa; pero los precios son a su vez un indicador, tanto de los gastos futuros de exploración, como de las inversiones en proyectos avanzados (Magnus Ericson. Encuesta de Proyectos Mineros. 2004).

Otro indicador del interés en el sector es el volumen de capital patrimonial comprometido en el año 2002 (US\$7 billones), el cual en la primera mitad del 2003 llegó a US\$2,7 billones. Si bien el volumen del capital patrimonial conseguido en el 2003 no supera la cifra del 2002, se trata de montos mucho mayores que los registradas en años recientes. Los mercados junior de Londres y el Canadá estuvieron particularmente activos (Magnus Ericson. Encuesta de Proyectos Mineros. 2004).

## DESARROLLO.

La Valoración de Activos Mineros: No es mas que la forma o método para determinar el precio de oportunidad de un yacimiento mineral mediante el análisis y valoración de una gran cantidad de factores y condiciones, que varían fundamentalmente debido a:

1. Grado de estudio del yacimiento.
2. Condiciones geólogo económicas.
3. Importancia industrial de sus minerales.
4. Importancia estratégica.

Para el análisis de la valoración de activos mineros, es necesario conocer que los mismos se realizan fundamentalmente para:

1. País u entidad necesitada de conocer su patrimonio geólogo minero.
2. Yacimientos u activos involucrados en negocios mineros.

Para este ultimo punto es necesario hacer un paréntesis en los **procesos negociadores**, objetivos y motivaciones de las partes involucradas en dichos proceso.

**Elementos Básicos del Proceso Negociador:** Dadas las contradicciones que puedan tener las partes negociadoras, también de diversas serán las estimativas de los parámetros geológicos, geofísicos, tecnológicos, mercadológicas e institucionales, los criterios de decisión que definen la posición estratégica y expectativas de riesgo y retorno. (Eduardo Vale Evaluation of Mineral Properties 1998).

Los costos estimados por la parte inversionista, usualmente son avalados por la parte vendedora.

Las primeras tareas que debe comprender un proceso negociador son:





- Evaluación pormenorizada de oportunidad de negocio, sustentada por numerosos análisis asociados a parámetros claves.
- Selección de la mejor compatibilidad de las expectativas de costo, riesgo y retorno con criterios de decisión de cada parte.
- Comparación de los criterios seleccionados por cada una de las partes, buscando identificar las discrepancias existentes en las metodologías de evaluación, valores adaptados por cada parte y variante, así como criterios de decisión.
- Reprocesamiento sucesivo de los avalúos buscando obtener indicadores de decisión progresivamente más convincentes.

El modelaje económico financiero debe ser desarrollado de tal forma que los valores asumidos para los trabajos claves, puedan ser fácilmente alterados, con la inmediata determinación de nuevos indicadores de decisión (VAL, VAN y TIR).

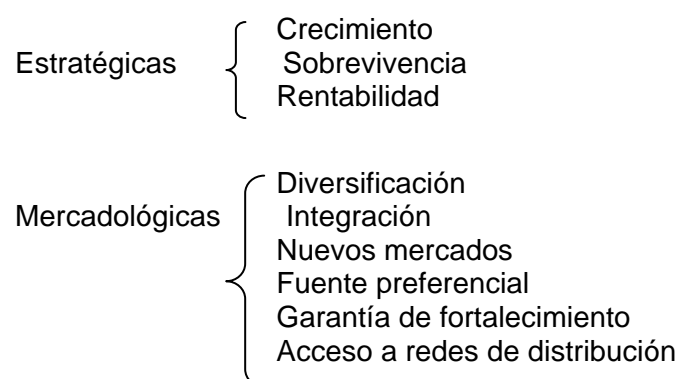
Los resultados de los criterios de evaluación y negociación: Deben expresar claramente:

- a) Metodología adoptada.
- b) Los valores y parámetros claves considerados.
- c) Criterios de decisión impuesto por cada una de las partes.
- d) Indicadores de decisión obtenidos por las partes.

Partiendo de la idea que ambas partes involucradas en un negocio minero poseen objetivos e intereses diferentes:

**Objetivo e intereses de la parte inversionista.**

**Objetivo:** Realizar una inversión que tenga una rentabilidad deseada.



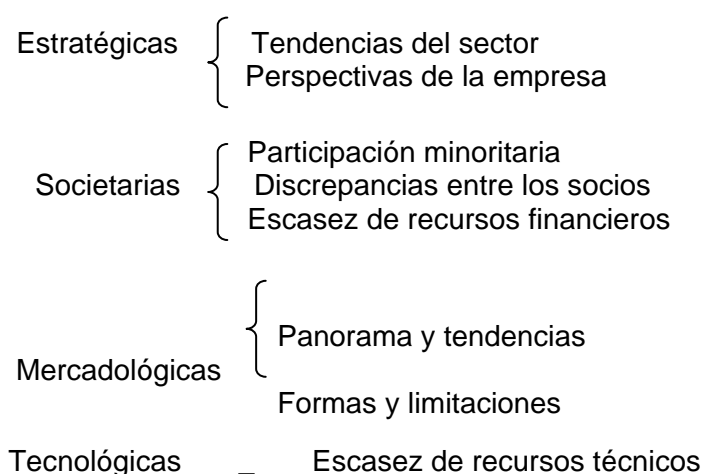
Motivaciones para invertir.

Tecnológicas — Adquisición del Know How

**Parte vendedora:**

**Objetivo:** Obtener un valor de venta mayor o igual que el valor presente.

Motivaciones para vender o negociar activos mineros:



**Arbitrage de la tasa de descuento:** El costo capital representa la media ponderada de las tasas relacionadas a las diferentes formas de fondo.



1. Capital de terceros (Debt Capital).
2. Capital propio (Equity Capital).

Es por ello que se plantea la necesidad de, que las empresas analicen regularmente sus costos capitales, de tal forma de poder disponer de una tasa de descuento racional y conscientemente determinada (sería poco probable una aproximación de las tasas mínimas de las partes envueltas en el negocio. Igual sucede con los costos capitales, originalmente definidos por las partes, se manifiestan convergentes en el proceso negociador:

- ✓ El vendedor tiende a reducir su tasa de descuento.
- ✓ El comprador tiende a elevar su tasa de descuento.

Si existiera la posibilidad que las tasas de descuento se manifiesten convergentes pueden recibir la incorporación de percepciones unilaterales de riesgo asociado, exacerbando consecuentemente la divergencia de los valores negociados.

Se plantean las siguientes soluciones:

1. Revelar tasas de descuento sin la incorporación de riesgos relacionados con el negocio en consideración.
2. Empezar análisis de riesgo asociado con parámetros críticos.
3. En el caso que subsistan dificultades el flujo de caja deberá ser convertido en dos nuevas versiones conceptuales:
  - ✓ Flujo de caja del inversionista.
  - ✓ Flujo de caja del vendedor.
4. Sometiendo los flujos de caja más los análisis de riesgos y la variación de las tasas de descuento se torna difícil determinar el valor comercial que ecualice la tasa de descuento.

Para atraer la inversión durante la exploración y desarrollo de un activo minero, generalmente se usan dos estrategias:

1. Arrendamiento o adquisición: El comprador se compromete a realizar inversiones en la exploración y desarrollo, ajenos a los pagos del titular.
2. Adquisición de participación con inversión en el proyecto (Earn inn): El titular del proyecto se atribuye el derecho de adquirir participación y la empresa se compromete a invertir en la prospección y exploración conforme a un cronograma establecido.

### Los Royalties en la minería.

Por royalty que usualmente se utiliza en negociaciones de derechos mineros se considera:

- ✓ **En los contratos de compra venta:** El valor económico ajustado a la negociación de compra y venta de activos mineros y comúnmente convertido en una secuencia de valores futuros, condicionado a la producción física o los resultados económicos. En nuestro caso representa el pago total o parcial, por la adquisición de un activo minero.
- ✓ **En los contratos de arrendamiento:** Es definido como la remuneración del operador al titular de un derecho minero en contrapartida a derechos conferidos.

**Modalidades del royalty:** Karl J. C. Harries los siguientes tipos más comunes de royalty:

- a) **Royalty en producto físico (RPF):** El operador entrega al titular el volumen físico del producto, determinado en función de la producción terminada.
- b) **Royalty por unidades de producto (RUP):** El acreedor recibe una determinada cuantía por cada tonelada de mineral procesado.
- c) **Royalty sobre ventas (RRV):** Basado en la receta bruta de ventas (concentrados, metales, etc.). Ofrece la facilidad de verificar por parte del acreedor de asegurar regularidades para recibir sus rendimientos. Sujeto al pago independientemente del resultado operacional.
- d) **Royalty sobre el lucro líquido (RLL):** Muy utilizado en Canadá. Asegura la justa remuneración de las partes. Parámetro unitario y porcentual aplicado sobre el lucro líquido esperado o real.
- e) **Royalty sobre el lucro líquido o Pay Back (RPB):** Es cuando el RLL determina el pago de royalty, cuando el lucro líquido de la operación sea positivo, adiciona la condición de que las inversiones realizadas por el operador hayan sido recuperadas. Tal modalidad tiende a ser aplicada cuando el operador asume significativas inversiones en investigaciones, desarrollo, modernización, etc.

Conociendo estos detalles podemos analizar y estudiar las diferentes metodologías existentes para las valoraciones de activos mineros, como se agrupan y como deben ser utilizadas.



## VALORACIÓN DE ACTIVOS MINEROS.

Existen tres grandes categorías en las metodologías de evaluación, las que se determinan según las bases de análisis utilizadas y poseen la misma tarea, **determinar beneficios futuros y el valor presente**:

1. Costo.
2. Mercado.
3. Ingreso.

Existen dos extremos en una evaluación minera: evaluación de un yacimiento bien conocido con categorías de reservas industriales, y evaluación de una concesión con ningún o escaso conocimiento geológico. Entre ambos extremos caben infinidad de métodos y técnicas de evaluación de activos mineros en dependencia del grado de conocimiento y documentación. (William E. Roscoe Valuation of Mineral Properties Using the Cost Approach 1998).

### Categoría de Costo.

- ♦ Es utilizada para recursos no suficientemente definidos, pero que posean un potencial que justifica gastos adicionales de exploración.
- ♦ En la misma el criterio del evaluador es el elemento principal, por eso se recomienda un geólogo explorador de experiencia.
- ♦ Los análisis de los gastos de investigaciones previas se realizan en la mayoría de los casos 3 – 4 años anteriores a la fecha de la valoración utilizando siempre una guía para determinar el porcentaje de los gastos que será retenido.

Como fundamentales técnicas pertenecientes a esta categoría están:

1. **La Valoración por Apreciación**, donde el valor del activo depende del programa de exploración que se realice y el valor de los trabajos previos se retiene en un porcentaje equivalente a los resultados obtenidos.
2. **Valoración técnica o métodos de los Factores**, se analizan un conjunto de factores geológico económicos que indican la perspectividad del activo mediante los cuales se determina un coeficiente multiplicador que constituye un factor de corrección que se multiplica por los costos totales evaluados, formándose así el valor del activo.

### Categoría de Mercado.

- ♦ El valor presente de los beneficios futuros es utilizado para la comparación del valor de la propiedad para cada tipo de materia prima.
- ♦ En la mayoría de los casos se requiere un mercado activo como el oro por ejemplo.
- ♦ Requiere una base de datos sólida que permita ajustar en el tiempo informaciones de venta no contemporáneas con la evaluación de hoy.
- ♦ La fecha de transacción debe encontrarse cercana a la de la evaluación, ya que puede ser afectada por el factor tiempo (precios, nuevas tecnologías, caída del mercado, etc.).
- ♦ Los activos para ser comparados deben tener similar mineralización, potencial geológico equivalente, etapas de investigación y otras condiciones.
- ♦ En algunas ocasiones se utiliza el precio actual del oro en el mercado y los volúmenes de recursos de las materias primas a evaluar y se determina su equivalente en oro.
- ♦ Para activos sin reservas se puede tomar como base \$/ha de superficie favorable o el valor del terreno en transacciones previas.
- ♦ Para esta categoría si la evaluación depende del mercado externo el riesgo es alto y por si lo contrario se asegura el mercado interno el riesgo es mínimo.

En esta categoría existe un gran número de técnicas, destacándose las siguientes:

1. Valoración por el método del Pulgar, este método se puede utilizar en las categorías de costo y mercado simultáneamente y consiste en la aplicación de valores determinados a los recursos del activo o a su superficie.
2. Valoración por transacciones comparables, los activos mineros pueden ser comparables o el activo que se valora poseer algunas ventajas o desventajas con otro que se haya vendido



recientemente, el valor no puede ser utilizado de comparación, pero establecer un rango del mismo.

3. Valoración por capital invertido, en este caso para obtener una medida objetiva del valor se utilizan los costos de adquisición del mismo activo u otro similar mas el valor de los trabajos de exploración adicionales y gastos de desarrollo.

#### **Categoría de Ingresos.**

1. Basado principalmente en el análisis del Flujo de Caja descontado (DCF Discounted Cash Flow).
2. Se utiliza usualmente para minas en producción o a punto de ser puestas en producción. (José A. Paione Yacimiento Mineral Como Calcular su Valor 1999).
3. Se trabaja solo con reservas para eliminar el riesgo.
4. El nivel de riesgo asociado con ingresos y costos se refleja en la elección de la tasa de descuento apropiada, tarea difícil ya que el evaluador trabaja con un mercado imaginario.
5. El FCD debe ser aplicado a activos que poseen estudios de Factibilidad, ya que disminuye el riesgo sustancialmente.
6. En caso de utilizar el método en activos no desarrollados con estudios conceptuales es recomendable realizar valoraciones simultaneas por otros métodos.
7. Este método, además del valor del activo, determina la participación de los socios, mecanismos para elevar dicha participación y cual será el Royalty capaz de soportar una participación 50 – 50.
8. Es recomendable realizar análisis paralelos para tasas de descuento de 8 a 18 para proyecciones de precios de 12 a 15 meses como máximo.
9. En el momento de realizar la evaluación se debe tener siempre presente que:
  - ✓ El FCD tiene cierta incapacidad para preparar una proyección de los precios o sea prever el cambio de los mismos en el tiempo. (José A. Paione Yacimiento Mineral Como Calcular su Valor 1999).
  - ✓ Es necesario en la mayoría de los casos determinar una tasa descontada apropiada que sea aceptada por las dos partes.
  - ✓ El uso inadecuado de la tasa de descuento, a veces alta debido al alto riesgo puede traer graves consecuencias. (Hrayr Agnerian Valoración de Propiedades de Exploración. 1996).

**Resumiendo podemos afirmar que el FCD resulta el método de valoración mas generalizado en el sector minero, porque en la mayoría de los casos estarás usando el mismo método de la otra parte y los valores a obtener serán semejantes.**

Etapas de los trabajos geólogo mineros donde se recomienda el uso de cada una de las categorías.

CATEGORIA	INV. GEOLOGICA	ESCASO DESARROLLO	DESARROLLO / EXPLOTACION
COSTOS	SI	A VECES	NO
MERCADO	SI	SI	SI
INGRESO	NO	A VECES	SI

Para el análisis del presente trabajo es necesario conocer algunas de las definiciones más usuales del valor utilizadas durante las valoraciones de activos mineros:

**Valor comercial:** Valor correctamente atribuido en transacciones comerciales en condiciones normales de mercado para un mineral idéntico o similar al considerado.



**Valor de costo:** En el caso de los yacimientos minerales sería igual a los gastos de investigaciones geológicas.

**Valor económico:** En nuestro caso está en función de la capacidad que posea el activo minero de generar rendimientos.

**Valor de Mercado:** Precio máximo que un vendedor puede obtener de un comprador en un mercado en alta.

**Valor justo de Mercado:** Valor pactado entre dos partes que estén plenamente informados de las pertinentes condiciones del Mercado y evaluados en un razonable periodo de tiempo.

**Valor especulativo:** Precio o valor que un propietario espera que alguien pague por su propiedad en el Mercado con los precios en alta.

**Valor bruto:** Resultante de la multiplicación de las reservas prudentemente calculadas por el valor de una tonelada in situ. Desprovisto de significado práctico pues no se toman los gastos totales para obtener el producto mineral útil.

**Valor industrial:** Valor monetario resultante de la multiplicación del valor bruto por el % de recuperación en la fase industrial.

**Valor líquido:** Valor monetario resultante de la diferencia del valor total obtenido por la venta de las sustancias minerales y los costos totales de operaciones.

**Valor actual:** Cantidad e importancia del dinero que deberá ser invertido en un yacimiento mineral de modo que los lucros líquidos obtenidos en el futuro, durante su explotación, una tasa de rendimiento que garantice la reposición del dinero al término de las operaciones.

## CONCLUSIONES.

1. Alcanzar conocimientos y acceso a estadísticas internacionales para mejorar la proyección de los trabajos geológicos, que conlleva a una mejor utilización del Presupuesto Estatal en la Geología con la utilización de estándares internacionales.
2. Desarrollar técnicas de interpretación de estudios de Mercado con el objetivo de estructurar las evaluaciones económicas de activos mineros, considerando los nuevos paradigmas de la industria minera, los aspectos de competitividad y factores internacionales para fomentar las inversiones, el desarrollo sostenible y la coexistencia con otras actividades económicas.
3. Lograr el conocimiento de estas técnicas de evaluación para la correcta proyección de los trabajos de investigaciones geológicas y viabilidad económica.
4. Tratar de elevar el conocimiento geológico de nuestros yacimientos, con el objetivo de disminuir los riesgos e incrementar su valor.
5. Alcanzar conocimientos actualizados de mercadeo y transacción de propiedades mineras.

## BIBLIOGRAFIA.

- Cruz J. y otros. 1998. Criterios sobre las estadísticas de gastos de las etapas de investigación geológica de Cuba y su comparación con otros países.
- Cruz J. y otros. 1998. Valoración de activos mineros cubanos en el periodo 1993 al 1997.
- Hrayr A. 1996. Valoración de Propiedades de Exploración.
- Magnus E. 2004 Encuesta de Proyectos Mineros.
- Paione J. A. 1999. Yacimiento Mineral Como Calcular su Valor.
- Roscoe W. E. 1998. Valuation of Mineral Properties Using the Cost Approach.
- Vale E. 1998. Evaluation of Mineral Properties.



## ASPECTOS GEOLÓGICOS DE ALGUNOS PASAJES DE NUESTRA HISTORIA

Gilberto Parra (1)

(1) PDVSA Punta de Mata, Venezuela, e-mail: [parragi@pdvsa.com](mailto:parragi@pdvsa.com)

Las estrategias y tácticas de las campañas terrestres durante la guerra de independencia estuvieron estrictamente controladas por la geología del borde septentrional de la Placa Suramericana, la interacción entre la Placa Suramericana y del Caribe, trajo como consecuencia el orógeno en flotación, el cual es el modelador principal del relieve de nuestro país hacia el norte.

Bolívar ejecuta la [Campaña del Magdalena](#) siguiendo el valle tectónico del río Magdalena, perpendicular al orógeno en flotación, el gobierno patriota de Cartagena le asigna un puesto de vigilancia en Tenerife, pero el Coronel Bolívar, no se quedó tranquilo y sin autorización arrancó aguas arriba con la fulminante [Campaña del Magdalena](#), tras lo cual sería ascendido a General de Brigada.

Una vez otorgada la autorización por el congreso neogranadino el Libertador inicia la hazaña militar que el mundo conocería como la [Campaña Admirable](#), Bolívar sigue la traza de la falla de Boconó o el borde meridional del orógeno en flotación. La ruta de la [Campaña Admirable](#), la falla de Boconó destaca como la responsable estructural en el occidente, las fallas de La Victoria y del Ávila como controladoras de los valles tectónicos del centro del país.





## PLANOS INCLINADOS PINARES DE MAYARÍ

**Dra. Marta Campo Cordero<sup>(1)</sup>, Ing. Vilma Guerra Correoso<sup>(1)</sup>, Ing Wilder Ge Roche<sup>(1)</sup>**

*(1) Oficina Nacional de Recursos Minerales, Avenida Salvador Allende No 666, entre Oquendo y Soledad, Centro Habana, Cuba. E mail martha@onrm.minbas.cu.*

### RESUMEN

El sistema de Planos Inclínados de la Mina Pinares de Mayarí, es una instalación destinada para el transporte de mineral desde esta mina hasta el depósito de mineral de Piedra Gorda de la Empresa Comandante René Ramos Latour de Nicaro.

El trabajo es una síntesis de la historia de esta grandiosa obra de ingeniería construida a inicios de siglo. Relata los antecedentes que motivaron la creación de estos planos, así como el estrecho vínculo existente con el desarrollo social de la región minera de Mayarí, relación que se mantiene hasta nuestros días.

La historia del Inclinado comienza con la excavación, luego se realiza la graduación del sistema de transporte, en 1909 se colocaron las líneas, cables y máquinas, comenzándose a bajar el mineral. Durante el primer año se transportaron 24 886 toneladas.

Esta instalación se encuentra en explotación desde 1909, con interrupciones, hasta su rehabilitación en 1979 – 1980 llevada a cabo por el instituto GIPRONIQUEL, con asesoría soviética.

Se muestra además la riqueza de la zona en relación a la biodiversidad de las especies naturales que la sitúan como una de las mas importantes del país.

Finalmente se expone el objetivo del trabajo que es el de proponer esta obra como patrimonio minero debido a su valor histórico, económico y cultural.

### ABSTRACT

The Ore Transportation System with partially compensated ascent and descent using steam is known as "Planos Inclínados de Mayarí". This engineer masterpiece has been running since beginning of the twenty Century and its closed linked with the first exploitation of the Cuban laterites as iron and nickel ores (Cuban Megaproject).

Taking into account the difficult topography of the deposit and its surroundings, the process of getting down the mineral ore, was a real challenge at that time. The construction started in 1906 and was concluded in 1909, including two parts (Upper, and Lower) and it's operate in a big part by gravity.

At the time of its construction, this work was different to another one known, including Aslhey and Mohance Planes which were running successfully.

In this paper are described details of the constructions, capacity of the Planes, including obstacles and the solutions achieved and Statistics of mineral carried.

Relations between The Inclined Planes and the Environment are also discussed, given its location in Pinares de Mayari and near La Mensura Ecological Reserve.

### INTRODUCCIÓN

Situada en el Norte del oriente cubano, en el Municipio Holguinero de Mayarí, se encuentra la genial obra de ingeniería conocida como los Planos Inclínados de Mayarí, asociada a la primera explotación de las lateritas cubanas, en específico el



mineral de hierro, y que hoy en día constituyen la primera minería de nuestro país, relacionada con la explotación del mineral para la producción de níquel y cobalto.

Su construcción representó un reto a la capacidad técnica y material del hombre, dada las difíciles condiciones topográficas de la región donde se ubicaba y al no existir precedentes de una obra similar en funcionamiento en otras partes del mundo.

Esta obra enmarcada en la historia minera y social de la región, esta vinculada al florecimiento de la industria minera y aun hoy se encuentra en funcionamiento.

Se encuentra ubicada en una de las más hermosas zonas de Cuba, donde la naturaleza aun se conserva con gran belleza y diversidad, y donde por lo tanto existe un especial interés por parte de nuestro gobierno e instituciones científicas de mantener sus características en el marco de actividades económicas regidas por los principios de un desarrollo sostenible.

En el presente trabajo se reseñan momentos notables de la vida de esta gran obra, y su papel en el entorno de la industria minera cubana y el patrimonio ambiental e histórico de nuestro país.

## UBICACION

Los planos Inclínados de Mayarí se encuentran situados en el Municipio de Mayarí, Provincia de Holguín.

La Meseta Pinares de Mayarí se encuentra localizada en la Sierra de Nipe la cual tiene una área de 600 Km<sup>2</sup>, esta altiplanicie se encuentra por encima de la cota de los 500 metros de elevación sobre el nivel del mar, lo conforman unas 22 020 Ha de baja fertilidad natural que se dedica fundamentalmente al cultivo del café, la actividad forestal, minería y la cría de ganado.

En esta meseta de Pinares de Mayarí están presentes los siguientes recursos naturales que representan un gran potencial para el desarrollo del turismo.





Recursos Naturales	Cantidad
Embalses	2
Ríos	3
Saltos	2
Cuevas	1
Senderos ecológicos	2
Áreas Protegidas	2

Además esta área constituye una de las zonas más importantes de Cuba con relación a la biodiversidad de las especies naturales al contar con 4 formaciones vegetales naturales, que representan el 25 % del total del país. La flora esta representada por mas de mil especies, que se agrupan en unas 110 familias representando un 16.6 % y 59.4 % respectivamente con respecto al país.

## ANTECEDENTES

Desde el tiempo de la colonia se tenía conocimiento de la existencia de mineral de hierro en Mayarí pero no es hasta 1901 que se identifican los mismos y se inicia la inversión de capital relacionado con estos recursos.

En 1903 la Compañía SAICO extrae 5000 toneladas de mineral de Pinares con el objetivo de someterlo a análisis en Estados Unidos para la fabricación de aceros especiales. El resultado exitoso de estas pruebas trae como consecuencia la decisión de realizar la explotación del yacimiento y el procesamiento del mineral comenzando en 1904 la construcción de las viviendas de lo que sería posteriormente el poblado de Felton.

La construcción de otras obras necesarias para esta industria se realiza a continuación, siendo en 1905 dragado el puerto y construido el muelle para desembarcar los materiales y el embarque de mineral.

En 1907 se comienza la construcción de una planta de procesamiento en Felton con 12 hornos, concluyéndose en 1909, fecha en que es procesado el primer cargamento de mineral de las minas de Pinares transportándose el mismo a través de las instalaciones de los Planos Inclinados de Mayarí.

La minería en la Meseta de Pinares de Mayarí esta íntimamente ligada a esta genial obra de ingeniería del año 1909, los Inclinados de Pinares de Mayarí.

Esta obra entró en operación en Noviembre de 1909 desde esta fecha hasta 1946 transportó 6 143 262 toneladas de mineral bruto de Mayarí, 1 375 89 toneladas de mineral de cromo. Este tonelaje fue acarreado en 143 877 carros en 86 084 viajes durante el periodo de 38 años.

## CONSTRUCCIÓN DEL POBLADO DE FELTON



El proyecto general para la construcción del poblado de Felton consistió en: Viviendas de primera clase, clase media, hotel, casa club, oficinas, aduanas, almacén etc todo ubicado en la parte Norte de la Isla y al Norte de línea central del muelle. Esto mantenía al pueblo libre de las vías férreas y da un frente de agua a la localización de los principales edificios del pueblo, con una plaza central grande. Las viviendas de los obreros, barracas, cantinas, etc se localizaban al Sur de la Planta Terminal separadas por esta del otro pueblo.

Fueron aprobados diseños para un hotel, dos tipos de casa primera clase, dos tipos de casas intermedias, casas para los trabajadores, barracas de una habitación, barracas para 50 hombres, baños cocinas, casa club, aduanas y otros edificios.

Las dos calles principales del poblado fueron niveladas y trincheras cavadas para el alcantarillado.

### **Telefonía**

Se instaló una línea telefónica de Felton a Piedra Gorda, con una rama al pueblo de Mayarí, estaciones temporales fueron ubicadas en la Oficina de Mayarí, de la Houston Contracting Company y en el cruce de los ríos Guayos y Mayarí y en otros dos puntos importantes del Plano. Una línea temporal se preparó desde Punta Gorda hasta la mina, no intentándose una línea permanente porque el cable se estiraba a lo largo del clareo para los inclinados y era constantemente roto por los árboles caídos y las explosiones. Una línea permanente se construyó en la medida que se fueron terminando los trabajos de nivelación.

### **Abasto de Agua**

Una vez decidida comenzar la construcción en Mayarí, uno de los primeros requerimientos fue el abasto de agua a Felton y a la parte inferior de la línea férrea pues no existía agua fresca disponible a lo largo de la línea desde Guayo hasta Felton. Los pocos nativos que vivían en Cagimaya, cargaban el agua en botes. Este método fue adoptado para nuestras necesidades inmediatas pero es enteramente inaceptable para abastecer, motores, dragas etc.

Se seleccionó un punto en el río Colba cercano a la línea de ferrocarril en tierras de José Claro. La compañía alquiló 100 pies cuadrados para ubicar la bomba y otras instalaciones con derecho a vía para tuberías a través de sus tierras. La renta fechada fue 12 de febrero del 1907, por un término de 5 años, renovables en periodos de 5 hasta 15 años.

## **PLANOS INCLINADOS.**

### **Construcción**

El sistema de Planos inclinados de la Mina Pinares, es una instalación diseñada para el transporte de mineral desde la mina del mismo nombre hasta Piedra Gorda. Se encuentra ubicada en la pendiente formada por la Meseta Pinares y el Valle de Mayarí.



Su función es el transporte de vagones cargados de mineral, mediante un sistema de mono - winche que permite a este último, acoplado a un dromo, el desplazamiento del mono a través de la vía férrea de 6 km de largo desde el nivel superior hasta el nivel inferior, en dos secciones, en ambos planos, reteniendo los mencionados vagones. De esta forma se logra la transportación con ascenso y descenso parcialmente compensado con accionamiento de vapor. Tiene capacidad para transportar mas de seis vagones cargados por hora.

En 1907 se determina en consulta con la firma constructora The New York Cableway and Engeneering Company la ubicación de los inclinados por los que sería bajado el mineral de Pinares hasta Punta Gorda.

Los Inclinados están formados por dos planos, uno Superior y otro Inferior conectados por una línea de ferrocarril de 1.6 Km. Ambos inclinados son de doble vía, con 14 pies de centro a centro. Un carro vacío subiendo por una vía, parcialmente hace balance de un carro cargado por bajando por la otra vía.

Los inclinados fueron diseñados suficientemente fuertes para bajar 3 carros de 80 ton. de mineral, pero al principio se usó una pequeña cuerda y solo dos carros bajaban a la vez. Cuando los requerimiento fueran mayores se usaría una cuerda más larga para bajar tres carros cargados y de esta manera se incrementaría la capacidad en un 50 %.

Por si en el futuro se deseaba un mayor incremento, existe un punto aproximadamente en la mitad inferior del inclinado superior donde la pendiente se reduce un 5 % y donde el inclinado puede dividirse, totalizando tres inclinados en total, lo que incrementaría la capacidad total en poco menos de otro 50%.

En el Inclinado Superior el cable principal de 3 pulgadas de diámetro, pasa sobre unos pesados tambores o tornos, 20 pies de diámetro, los cuales están situados a la cabeza de ambos inclinados. A la terminación de cada cable hay firmemente asegurado un "Barney -Car"(mono) y enfrente del muelle amortiguador descansa el carro de mineral. La velocidad es controlada por una maquina de vapor por engranaje a los tambores o tornos y frenos de poste de vapor.

Tres pesadas locomotoras tipo Shifter se encargaban de servir las palas y excavadoras y transportaban los carros de mineral hasta la cabeza del Inclinado Superior, aquí las vías tienen una inclinación regulada de tal manera que cuando los frenos se sueltan, el carro rodará hasta el inclinado y los carros vacíos que suben rodaran por otra vía.

Ambos inclinados son manejados por el sistema de cable a cola, el cable principal en el Inclinado Superior es de 3 pulgadas de diámetro, de 6 trenzas de 19 hilos cada una, de acero arado con 11/8 pulgadas, este ultimo tiene 6 trenzas de 19 hilos, torcidos alrededor de un centro de henequén, con una resistencia calculada de 377 toneladas. El largo total de este cable, fabricado por John A Reebling Co. de 7810 pies (2380.49 m) y su peso excede las 123. 000 lbs.

El inclinado inferior, es de 594.36 m de largo, con un grado de pendiente uniforme de 25 % terminando su parte baja en una larga curva vertical. El cable usado es del mismo diámetro que el cable utilizado en el inclinado superior, pero como el largo y el peso del



cable es mucho menor, este está hecho de acero fundido y tiene dentro y en el centro una sogá de pita, en vez de un cable de acero.

El éxito de la fabricación, transporte e instalación del extraordinario cable utilizado fue una hazaña de ingeniería digna de alabanza. A lo largo de la línea, a intervalos frecuentes hay rolletes de 10 pulgadas de diámetro para soportar al cable, estos rolletes torneados de madera dura del país son sostenidos por un eje de 1-5 pulgadas que corre en simples soportes de madera dura cogido por pernos de dos traviesas.

El problema del inclinado envolvía los mayores pesos que se habían manejado hasta ese momento, incluyendo rampas escalonadas y presentaba condiciones diferentes a cualquier otro plano inclinado que se conocía, incluyendo los Planos Ashley Mohance que ya se encontraban en operación de forma satisfactoria en Estados Unidos. La cuestión fue cuidadosamente estudiada en su totalidad tanto aquí como en EUA, y el diseño finalmente fue preparado por New York Cableway and Engineering Company, y fue aprobado por una compañía independiente de la más alta reputación.

El trabajo de ingeniería realizado para llevar a efecto los dos Planos inclinados y el ferrocarril hasta Piedra Gorda constituye orgullo de los pobladores de Mayarí y Felton, de la provincia y del país, porque fue la primera obra que logró transportar el mineral laterítico para la producción de acero, que descubre el contenido de Ni en las lateritas cubanas convirtiéndola en una potencia en cuanto a reservas de este mineral y que actualmente se encuentra en operación.

### **Principales dificultades en la puesta en marcha**

- Capacidad insuficiente de la caldera y tubería de vapor muy pequeña, esto se remedió en 1910.
- Fuerza de freno insuficiente que se resuelve instalando nuevos cilindros.
- Los bloques originales "Barneys" con ruedas de hierro fundidos fueron reemplazados con ruedas de acero.
- Los rodillos de los cables de hierro fundido se sustituyeron por rodillos de madera dura.
- Se cambia el grado de la curva del inclinado superior, eliminándose los daños a los cables y roturas que se presentaban a los rodillos.
- En 1912 se instalaron rodillos de acero – manganeso pues los de madera se gastaron a un promedio de 130 por día, los cambios de rodillos bajaron la fricción entre cable y rodillo hasta tal punto que los frenos fueron insuficientes, se instalaron nuevos frenos, pero entonces el resbalamiento de los dromos aumentó.
- Cuando en 1914 se puso el cable 4, nuevos bloques fueron adaptados para 4 vueltas en los dromos en vez de 3
- Durante el 1915 el inclinado superior operó con 2 trenes de carros sin reportar dificultad.





- En Septiembre de 1916 se colocó el cable 5, este se diferenciaba de los primeros 4 en tiene mas alambre ( 6 cabos de 37 hilos cada uno) y fue usado hasta 1929. En que cesó la operación.
- En 1941 con la reapertura se instaló el cable 6, en Febrero de 1943 fue reportado que este cable estaba muy dañado y se sugirió montar otro.

### **Explotación desde 1909 a 1940**

Los planos inclinados en esa etapa se utilizaron para bajar desde la Meseta Pinares de Mayarí recursos minerales ( Hierro y Manganese) y maderables.

### **Hierro**

El primer embarque de hierro se realiza desde Felton en el año 1909. A partir de ahí se estabiliza la actividad extractiva, hasta 1917 alcanzándose las siguientes producciones. En 1914 cuando estalla la segunda guerra mundial este mineral alcanza un máximo de importancia. Pero finalizada la II guerra mundial en 1918 los precios comienzan a descender.

En 1940 se suspenden las extracciones debido a que no se pudieron solucionar las dificultades técnicas surgidas, no se pudo controlar el contenido de Ni.

### **Ton extraídas de hierro desde 1909 a 1940**

<b>Año</b>	<b>Ton</b>
<b>1909</b>	<b>25705</b>
<b>1910</b>	<b>395257</b>
<b>1911</b>	<b>698789</b>
<b>1912</b>	<b>821233</b>
<b>1913</b>	<b>676431</b>
<b>1914</b>	<b>0</b>
<b>1915</b>	<b>470974</b>
<b>1916</b>	<b>494554</b>
<b>1917</b>	<b>1 292 082</b>
<b>1919</b>	<b>315 121</b>
<b>1930</b>	<b>244 773</b>
<b>1931</b>	<b>226 800</b>
<b>1932</b>	<b>188221</b>
<b>1933</b>	<b>276681</b>
<b>1934</b>	<b>97000</b>
<b>1935</b>	<b>668871</b>
<b>1936</b>	<b>170671</b>
<b>1937</b>	<b>176275</b>

### **Cromo**



Los primeros datos que se tienen sobre la explotación de cromitas metalúrgicas en Oriente datan de 1840-1850.

En el caso de Pinares la mina más importante fue Caledonia la descubrió Federico Brunas entre 1904-1912, posteriormente este se la vendió a la SAICO. Esta mina se comenzó a explotar en 1913 y legalizada en 1915. En 1916 el mineral se extrajo por un funicular desde el cañón hasta la meseta dónde se trasladaba a Woolfreed y desde allí a Felton por los planos inclinados. En 1926 fue cerrada la mina.

En Pinares comenzaron a trabajar por esa época otras minas como Tres Hermanas, Juanita, Caracol, Mayarí, la sin nombre, Estrella de Mayarí, Casimba.

### **Ton extraídas de cromo desde 1916 a 1940**

<b>Años</b>	<b>Ton</b>
<b>1916</b>	<b>16</b>
<b>1917</b>	<b>17</b>
<b>1918</b>	<b>8321</b>
<b>1919</b>	<b>14411</b>
<b>1920</b>	<b>710</b>
<b>1921</b>	<b>600</b>
<b>1922</b>	<b>1</b>
<b>1923</b>	<b>10420</b>
<b>1924</b>	<b>8145</b>
<b>1925</b>	<b>29830</b>
<b>1926</b>	<b>36020</b>
<b>1927</b>	<b>16983</b>
<b>1928</b>	<b>33707</b>
<b>1929</b>	<b>52949</b>
<b>1930</b>	<b>40982</b>
<b>1931</b>	<b>14957</b>
<b>1932</b>	<b>0</b>
<b>1933</b>	<b>23792</b>
<b>1934</b>	<b>49370</b>
<b>1935</b>	<b>47743</b>
<b>1936</b>	<b>69863</b>
<b>1937</b>	<b>93098</b>
<b>1938</b>	<b>39529</b>
<b>1939</b>	<b>66002</b>
<b>1940</b>	<b>51955</b>
<b>Total</b>	<b>710 069</b>

### **Madera**



La sociedad anónima denominada The Bahamas Cuban Co Limited fue organizada en conformidad con las leyes de compañías de 1861-1898 de la Isla de New Providence una de las Bahamas, colonia inglesa, mediante acta de Puyans y Núñez el No 285 de 6/9/1919.

A partir de 1929 se comienza la explotación maderera por esta compañía en Pinares de Mayarí por lo que se construyó un aserradero en Mensura donde actualmente está el Motel donde se aserraban aproximadamente 2000 pinos diarios.

Las Bahamas obtuvo de SAICO las maderas de las minas explotadas. La bajada de la madera desde Pinares de Mayarí se realizó por los planos inclinados hasta 1932 que se abrió un camino por la Mina La Bandera de lo cual toma su nombre la actual Loma de La Bandera.

### **Una nueva historia**

La construcción de la planta de Nicaro comienza en Marzo de 1942, concluyéndose la primera etapa en Diciembre del 1943, fecha en la que se produce el primer óxido de níquel. En 1944 ocurre la terminación de la obra y la operación total comienza en 1944. Esta operación termina en Marzo 31 del 1947, 4 años después de ponerla en producción. Se procesaron 3.3 millones de toneladas secas de mineral para 28 896 toneladas de Ni+Co.

Entre los años 1944-1947 es explotada por el gobierno americano.

En 1951 esta fue rehabilitada y operada por Nickel Processing Corporation con la National Lead Company y Fomentos de Minerales de Cubanos, S.A. La producción aumentó hasta 20 186.11 toneladas de Ni+Co y Eficiencia 75.62 % en el año 1957.

La planta reinicia sus operaciones en 1952 planificándose ampliar la capacidad de la Planta y realizándose investigaciones para aumentar el volumen de reservas que sustente la ampliación de capacidades de la Planta ( 75 %).

Con el triunfo de la Revolución esta planta de Níquel es nacionalizada, estabilizándose la producción del mineral, alcanzándose producción récord en el año 1983 – 21 135 ton Ni+Co.

Esta instalación se encuentra en explotación desde 1909, con interrupciones, hasta su rehabilitación en 1979 – 1980 llevada a cabo por el instituto GIPRONIQUEL, con asesoría soviética.

### **PATRIMONIO TECNICO**

Actualmente previendo el incremento de la producción de la mina Pinares en los futuros años, y teniendo en cuenta el estado técnico de las líneas y demás instalaciones, es insuficiente la capacidad de transporte que pueden garantizar estos Planos, por lo que se prevé la construcción de nuevos sistemas de transportación.

No obstante la preservación de esta gigantesca obra humana que durante años se ha mantenido como testigo de la actividad del hombre, es un objetivo que debemos priorizar.



Su visita puede constituir escala obligada para esos amantes de la naturaleza y la técnica que quieran observar una obra que ha convivido durante décadas con la actividad minera en nuestro país.

## **BIBLIOGRAFIA**

Jennings S. 1907 The Spanish American Iron Company. Annual Report Part II 76 p

# PRESEVACIÓN DE LOS SITIOS GEOLÓGICOS EN LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO.

**Sandra Fajardo<sup>(1)</sup>, Roberto Denis <sup>(1)</sup> y René Fernández de Lara<sup>(1)</sup>**

***(1) Empresa Geominera de Pinar del Río.***

## RESUMEN

En la actualidad los trabajos en la esfera de la protección de la naturaleza cada vez adquieren mayor interés. A escala universal existen programas creados con el objetivo de conservar y proteger las áreas naturales con características geológicas relevantes. El presente trabajo constituye el proyecto de programa de conservación adaptado a las características de nuestra provincia. La provincia de Pinar del Río por su rico potencial natural sumado al alto grado de estudio geológico producto de la gran cantidad de trabajos e investigaciones geológicas realizadas y su elevado potencial minero, permiten disponer de una gran cantidad de sitios de interés geológicos a proteger.

Los elementos fundamentales que se tomarán en cuenta por su valor científico para las geociencias serán: las áreas que caracterizan un determinado estadio de la evolución del planeta, las que son representativas de procesos geodinámicos, contengan concentraciones de restos fósiles y lugares con determinado valor histórico como minas, pozos y plantas metalúrgicas.

Toda la información referente a estos sitios de interés será almacenada en una base de datos en formato digital que permitirá su actualización permanente, selección de determinada información y su salida en diferentes formatos. La base de datos correspondiente estará soportada sobre una plataforma SIG que permitirá el rápido y eficiente manejo de esta información. Todo lo cual indica la naturaleza dialéctica e interactiva de este proyecto.

## ABSTRACT

At present time works in the sphere of the protection of nature acquire a bigger interest. Programs are created to the universal scale with the objective of preserving and protecting natural areas with special geologic characteristics.

The present paper constitutes a project of conservation adapted to the Pinar del Río specific characteristics. Due to the rich natural potential of our province, added to the high level of geologic investigation of the region, allow to have a great amount of geological places of interest to be protected.

The principal elements that will be represented, according to their scientific value for the geo-sciences will be the sites that characterize a certain stadium of the evolution of the planet, sites that are representative of geo-dinamic processes, sites containing concentrations of fossil remains and sites with certain historical value as mines and metallurgic plants.

All the information from these sites, will be stored in a database in digital format that will allow its permanent update, selection of required information and different output formats. The corresponding database will be supported on GIS that will allow the easy and efficient handling of this information. All this features indicate the dialectical and interactive nature of this project.

## INTRODUCCION

Tradicionalmente la Geología ha sido vista como una actividad “destructora” del medio ambiente natural, fama que ha obtenido sobre todo gracias a su inseparable compañera la Minería, tal vez por aquello de que “tanta culpa tiene el que mata la vaca, como el que le aguanta la pata” o quizás por aquel otro refrán que dice “dime con quien andas y te diré quien eres”.

Bromas aparte y haciendo honor a la verdad no se puede decir que sea “inocente”, pues todo estudio geológico tiene por objetivo, unas veces táctico otras estratégico, la ampliación del conocimiento existente sobre la litosfera, específicamente de un sector dado, para determinar la localización de los recursos minerales, sus características, las regularidades

de su distribución y el modo más conveniente de explotarlos. Este fin entraña agresiones al medio que van desde el simple golpe de piqueta sobre una roca para tomar muestras, pasando por el trazado de perfiles de estudio por trochas abiertas a través de la vegetación hasta el empleo de explosivos, los grandes movimientos de tierra, la construcción de la infraestructura minera y la red vial, la creación de nuevos asentamientos humanos, fluctuaciones y migraciones en la población, cambios en la estructura demográfica, etc.; sin olvidar las ulteriores consecuencias para el entorno como la contaminación de la red hidrológica, en ocasiones del aire, la devastación de bosques, disminución en el número de individuos o extinción de determinadas especies.

Pero no es justo referirse solamente a las afectaciones que provoca al medio la Geología. Este cuadro, si bien es desastroso, es también evitable y mitigable; además se corre el riesgo de pecar de extremista e injusto si sólo se mencionan los daños y se olvida que las actividades geológicas y mineras han sido uno de los pilares sobre los que la Humanidad ha construido la civilización durante milenios hasta el nivel actual.

Esta visión conciliadora con el medio ha ido ganando adeptos entre los geólogos, mineros y especialistas afines, tanto a escala internacional como en nuestro país en específico, donde de algunas experiencias iniciales expuestas en el II Congreso Cubano de Geología y Minería (Santiago de Cuba, 1994), se produjo un salto a una amplia gama de trabajos desde el III Congreso ( La Habana, 1998) hasta el Congreso Cubano de Geología y Minería (Ciudad de la Habana, 2003).

Ha esto se suma el interés por preservar el conocimiento del medio geológico para el beneficio de las futuras generaciones.

En estos momentos uno de los objetivos permanentes del trabajo de la SCG esta dirigido a proteger los sitios de importancia geológica, paleontológica, minera o histórica en el país.

En este sentido especial interés por la introducción del tema en el país reviste el trabajo de Manuel Iturralde A.-Vincent, 1998; donde se expone además de algunos antecedentes históricos los dos programas implantados por la UNESCO y la IUGS: La Red Mundial de Areas Reservadas del Geosite y el Listado de Areas Geológicas Reservadas del Patrimonio Universal y la posibilidad de su implementación en Cuba para la protección y conservación del Patrimonio Geológico Nacional.

En la provincia Pinar del Río su rico potencial natural unido al alto grado de estudio geológico traen como consecuencia la existencia de un gran número de localidades y sitios de interés geológico que reúnen las cualidades requeridas por estos programas., lo cual los hacen dignos de su protección y conservación. El objetivo de este trabajo además de inventariar estos sitios es crear las herramientas que permitan su protección y conservación para el beneficio de presentes y futuras generaciones.

## **MATERIALES Y METODOS.**

La ocurrencia en nuestro territorio de un alto número de sitios geológicos se debe a tres causas fundamentales: Alto potencial minero, alto grado de conocimiento geológico de la región y las características peculiares de la constitución geológica.

El alto potencial minero está dado por las características metalogénicas de la región que la han dotado de un gran numero de minerales sólidos de diferentes tipos lo que ha motivado el estudio del territorio con fines económicos existiendo un amplio movimiento minero desde el siglo XVIII, basta decir que entre finales del sigo XIX y finales del siglo XX se realizaron más de 700 denuncios legales o reportes la mayoría de cobre pero incluía también plomo, plata,oro, barita, asfaltita, etc . Fruto de lo antes descrito son las minas abandonada Las Uniones y su planta, de la que actualmente se conserva la torre del horno que data de



principios del siglo XX, en el municipio Mantua, la mina antigua de cobre de Lagunilla en San Juan y Martínez y como mina insignia de la provincia las minas de Matahambre de principio del siglo XX y que fue en su momento la mina más profunda de América, cerrada en 1997 y declarada Monumento Nacional.

El alto grado de conocimiento geológico de la provincia de Pinar del Río se debe a que ha sido objeto en todas las épocas y bajo distintas concepciones de estudios geológicos. En la primera mitad del siglo XX geólogos cubanos y norteamericanos realizaron estudios regionales con fines petroleros, después del triunfo de la revolución esto se sistematizó con un amplio complejo de métodos con el que se cubrió más de un 70 % del área de la Provincia, generándose el estudio más detallado de algunas áreas.

Las características particulares de la constitución geológica de nuestra región se deben a que esta fue dotada de una naturaleza exclusiva, con una caprichosa y compleja constitución geológica, apareciendo en la actualidad fenómenos geológicos no frecuentes en otros lugares como son los mogotes de Viñales, límites estratigráficos asociados a cacastrófes universales, el sistema cavernario más grande de América del Sur etc.

Estos lugares unidos a las formaciones tipo de la provincia constituyen los principales materiales que conforman este trabajo.

Por el valor científico o histórico que representen los sitios de interés se agruparán en cuatro grupos principales :

- Lugares que caracterizan un estadio en la evolución del planeta.
- Lugares que caracterizan procesos geodinámicos
- Lugares que contengan restos fósiles
- Lugares con determinado valor histórico.

### **Lugares que caracterizan un estadio en la evolución del planeta**

Dentro de estos sitios se consideran entre otros:

- Formaciones geológicas, por ejemplo una de las localidades tipo de la Fm. San Cayetano, ubicado en el km 13 de la carretera La Palma - Viñales.
- Límites estratigráficos como el existente entre los depósitos de la Fm. Moncada sobre rocas cretácicas de la Fm. Pons en el Entronque Moncada (límite *Cretácico / Terciario*).
- Las Capas de Megaturbidita relacionadas con eventos catastrófico del límite *Cretácico / Terciario*, de la Fm. Cacarájicara, discordancias.

### **Lugares que caracterizan procesos geodinámicos**

Dentro de estos sitios consideramos:

- Fallas (Eje escarpe típico de la falla Pinar Km 11 carretera de Luis Lazo)
- Testimonios de deslizamientos submarinos (Eje zenolitos en diabasas en Los Hoyos al norte de Soroa.
- Estructuras cársticas, (ejemplo sistemas cavernarios de la Sierra de los Organos .
- Otros. sobrecorrimientos, pliegues, etc

### **Lugares que contengan restos fósiles**

Consideraremos puntos con determinado nivel de conservación y cantidad de restos fósiles representativos, por ejemplo los Mogotes de Pan de Azúcar y Hoyo de la Sierra donde se conservan restos de Ammonites y esqueletos de peces, la Sierra Guasasa con restos de reptiles jurásicos, etc.

### **Lugares con determinado valor histórico.**

Se considerarán aquellos sitios que marquen un momento o lugar relevante en la historia geologo-minera de la provincia, por ejemplo el complejo de la mina de Matahambre, la torre

de fundición de las Uniones en el municipio Mantua, la planta de procesamiento y pozo de la mina la Argentífera en el municipio Guane, la cantera abandonada Vega Nueva al oeste de La Palma etc.

## ETAPAS DEL PROYECTO.

- Recopilación de la información.
- Captación de la información.
- Creación de la Base de Datos.
- Reconocimiento en el Terreno.
- Tramitación Legal.
- Acciones de preservación.
- Confección del SIG.

### **Recopilación de la información:**

Se realizará mediante el análisis de todos los puntos de interés geológico, partiendo del Léxico Estratigráfico de Cuba y los informes a fines existentes en las diferentes instituciones. Otra información no relacionada con la literatura existente se obtendrá por medio de encuestas a entidades, organismos y personalidades relacionadas con las geociencias.

### **Captación de la información.**

Esta información será gráfica, textual o analítica, en todos los casos estará georeferenciada.

### **Creación de la base de datos.**

La Base de Datos contendrá los siguientes campos:

- Nombre del sitio.
- Historia del Sitio
- Ubicación.
- Valor del sitio.
- Descripción.
- Grado de preservación.
- Poseedor legal del terreno.
- Información gráfica.

### **Reconocimiento en el terreno**

Se realizarán visitas al lugar donde se cumplimentarán los siguientes aspectos:

- Localizar y comprobar el sitio de interés.
- Valorar su estado de conservación y su inclusión o no en el proyecto.
- Delimitación exacta del área del sitio.
- Obtener material fotográfico.
- Confeccionar Programa para los trabajos de conservación.

### **Tramitación legal:**

Cada sitio de interés contará con un expediente que será presentado a las instituciones rectoras. IPF, CITMA, ONRM y el Ministerio de Cultura (este último los incluye dentro de la Ley No.2. Ley de los Monumentos Nacionales y Locales. Capítulo I. Artículo 2.) de conjunto deben ser los encargados del manejo legal de los sitios elegidos.

### **Preservación.**

Cada sitio de acuerdo a sus características tendrá acciones de preservación individuales. De forma general todos deben ser señalizados, delimitados perimetralmente si fuera posible, además de ser sometidos a acciones sistemáticas de mantenimiento que pueden ser organizadas con las administraciones locales. En todos los casos deben contar "in situ" con una forma explicativa, que puede ser desde una breve descripción en forma de cartel (para el caso de un sitio de interés alejado), hasta un sistema explicativo que incluya personal

capacitado para la tarea (para el caso construcciones o sitios habitados como el caso de la mina de Matahambre)

### **Confección del SIG**

Como herramienta para el manejo y análisis de los datos, además de facilitar la interacción con el usuario se propone la implementación de un SIG. Este SIG estará compuesto por varias capas informativas teniendo como base un mapa planimétrico y será capaz realizar todas las consultas que puedan ser de interés para cualquier usuario, también tendrá formatos de salida gráficos y textuales.

### **RECOMENDACIONES.**

1. Realizar un taller o serie de talleres para unificar la metodología de estos proyectos, determinar su responsable legal, financistas y demás aspectos necesarios.
2. Insertar el producto de este trabajo al beneficio social, sirviendo de soporte a planes educativos incluyendo la educación superior en las carreras relacionadas con las geociencias, así también al desarrollo de planes turísticos.

## LITOTECA GEOLOGO PETROLERA DE CUBA: UN PROBLEMA A RESOLVER PARA CONSERVAR EL PATRIMONIO Y ELEVAR LA CALIDAD DE LOS SERVICIOS

**Olga Castro Castiñeira, Rafael Segura Soto, Asel Aguilar Sánchez, Gustavo Echevarría Rodríguez**

Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169 esq. a Churrucá, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. ZIP 12 000, E-mail: [olgac@ceinpet.cupet.cu](mailto:olgac@ceinpet.cupet.cu), [rsegura@ceinpet.cupet.cu](mailto:rsegura@ceinpet.cupet.cu), [asel@ceinpet.cupet.cu](mailto:asel@ceinpet.cupet.cu)

### RESUMEN

Los restos de la perforación de pozos constituyen la única evidencia física de las rocas que conforman los yacimientos de petróleo en cualquier país. En los países con desarrollo petrolero son patrimonio del estado y constituye delito su maltrato o desamparo.

La conservación requiere de un local con condiciones apropiadas de espacio, temperatura y humedad, un embalaje óptimo y la ubicación de las muestras en estantes o muebles modulares, con una organización tipo archivo.

En el caso nuestro, se logró un mínimo de condiciones al trasladarse la colección de núcleos y muestras de canal de Cuba a un almacén junto a los Laboratorios del CIDP. Hasta ahora se estaba perdiendo el material acumulado durante años por el deteriorado considerable de las condiciones existentes en un inicio, debido en gran parte a que el embalaje utilizado no fue el adecuado.

Actualmente se reenvasa el material en cajas plásticas apropiadas y lleva el control mediante un sistema de inventarios. Como solución para el local, se tiene la posibilidad de remodelar una instalación del CEINPET con ubicación cercana para servir de litoteca.

Está propuesto establecer un museo donde el aspecto más destacado debe ser la expresión de los reservorios de los yacimientos en sus parámetros más importantes.

El beneficio mayor es a largo plazo, cuando una vez concluidas las instalaciones con óptimas condiciones, se pueda prestar un servicio de calidad a los clientes y fundamentalmente para que no se siga perdiendo la información.

### ABSTRACT

The remains of well drilling are the only physic evidence of the rocks that make up the oil fields in any country. They are a government's patrimony in the countries with a high development of oil exploitation and it is a crime to not give them a proper use or abandon them.

For the conservation of samples it is necessary to have places with the appropriate conditions, regarding space, temperature and humidity, good packing and the placing of the samples in shelves or other suitable furniture.

In our case, minimum conditions were obtain after moving the collection of Cuban cores and cutting samples next to the Laboratories of the CIDP. The material accumulated for years was being lost until recently due to the declining of the conditions they used to have at the beginning, specially caused by an unproper packing.

Today, the material is being put into suitable plastic boxes, which is controlled by a system of inventories. To solve the problem with the place, one possibility is to remodel a space that belongs to the CEINPET located in Havana City, which will function as a litotec.

A proposition is to create a museum where the main concern shall be to show the most important parameters of the reservoirs.

The results will be obtained under a long period of time, once the proper places are ready to keep the information safe, which will allow us to offer a high-quality service to the clients.

## INTRODUCCION

Para que se pueda tener una idea de la catástrofe que constituye la pérdida de la información geológica para la historia del planeta, compárese con la desaparición de las bibliotecas más famosas de la humanidad. La biblioteca de Alejandría o “la memoria del mundo” pretendía conservar la literatura de muchos países y lenguas, y fue entonces una fuente incalculable de conocimientos para varios estratos de la sociedad de aquel entonces. La pérdida de esta colección a causa de un gran incendio se cuenta entre las grandes tragedias de la historia. Esto ejemplifica la importancia que tiene para el conocimiento de la humanidad cada biblioteca del mundo.

En las geociencias puede establecerse una analogía con el material primario de su trabajo: las rocas. Aunque los afloramientos pueden ser representativos de las formaciones que se encuentran en la profundidad, los restos de la perforación de pozos, es decir, los ripios o muestras de canal y sobre todo los núcleos, constituyen la única evidencia física de las rocas que conforman los yacimientos de petróleo en cualquier país.

El procesamiento de este material es el único medio para visualizar las características de los reservorios y los sellos, tanto por su constitución litológica y su diagénesis como por su edad a partir de la datación de fósiles. Los análisis petrofísicos permiten determinar sus propiedades físicas como roca almacén o sellante, y por tanto definir su calidad. Todo esto sirve de apoyo al trabajo geológico de interpretación posterior, por lo que no se puede prescindir de esta información.

Se considera por muchos que en la era de los registros de imágenes y los modelos computacionales tridimensionales de los yacimientos, la importancia de los datos de núcleos se reduce. Pero esto no es lo que sucede en realidad, teniendo en cuenta la necesidad de la integración de toda la información disponible para caracterizar los yacimientos con vistas a su explotación. También, conociendo que la mayor parte del potencial de hidrocarburos, entre el 60 y el 70 %, permanece en los yacimientos luego de su extracción primaria, se necesita aplicar otros métodos de recuperación secundarios y terciarios, que se fundamentan en análisis físicos de los núcleos obtenidos en el pasado. Por otra parte, con el rápido desarrollo de las ciencias geológicas y la ingeniería de yacimientos, unido al avance de la computación, se necesita reanalizar las muestras a la luz de los nuevos conocimientos. La estratigrafía secuencial, los análisis de atributos sísmicos y geoestadísticos, así como la simulación de reservorios 3D, serían imposibles sin los núcleos tanto nuevos como los ya existentes. Por último, con el tiempo se incrementan las áreas que por diferentes motivos no se volverán a perforar, siendo los núcleos cortados en el pasado la única información accesible a las profundidades geológicas de ellas.

De aquí que la pérdida de cada muestra es equivalente a la destrucción de un libro o un documento en una biblioteca, por lo que cobra una importancia vital la conservación de este material como un patrimonio del conocimiento geológico de la humanidad a través de su historia.

## MATERIALES Y METODOS

El problema de la pérdida de la información adquiere matices internacionales, por cuanto el deterioro es similar y preocupante en cualquier país. Véase un ejemplo de esta situación en la Figura 1:



Figura 1. Las malas condiciones contribuyen a las presentes crisis en la conservación de muestras. (Scott L. Montgomery, 1999)

En el documento: Análisis de las problemáticas relacionadas al almacenamiento de muestras y al servicio de laminación del IGL. Posibles soluciones, de Luigi Augusto Solari Lovati, del Instituto de Geología en México, se señalan problemas y sus causas, con las posibles soluciones.

“Problemas: En los últimos años se ha presentado un empeoramiento del estado de la litoteca (usada como almacén para muestras).

Causas: Falta de personal: nadie se ocupa de manera concreta del almacenaje de las muestras. Falta de espacio para almacenar material. La litoteca fue creada para otro uso, y dejada a su propia suerte. Mal uso del poco espacio: en la litoteca hay nucleadoras y otro equipo, cortadoras y mesas abandonadas.

Incumplimiento de promesas: hace más de 3 años se pidió un espacio, en frente del taller de molienda, como almacén temporal para el material a procesarse (una especie de estructura prefabricada, con cajas y estantes, que entonces costaba menos de 20,000 pesos).

Posibles soluciones: Depuración del material presente, eliminación de las muestras de los desaparecidos. Eliminación de todo lo que está en los pisos, para permitir el libre paso con diablo. Redistribución de espacios: que los grupos o departamentos que tienen otros edificios, talleres espacios, dejen la litoteca a los departamentos que no tienen. Crear bodegas de almacenaje, tanto enfrente del taller de molienda, para almacenaje temporal, así como las creadas en Geofísica, en los huecos de la cimentación, y que se asignen a cada investigador que maneja una elevada cantidad de material”.

En nuestro país se presentan situaciones comunes y particulares en relación al resto del mundo. La historia de la conservación de núcleos cortados durante la perforación de pozos petroleros se remonta a la época del capitalismo, en Jatibonico, en un local construido para estos fines por la organización estatal que se ocupaba teóricamente de las cuestiones referentes a la exploración petrolera. Las muestras entregadas por las compañías se fueron almacenando en estantes abiertos en este local hasta que el mismo fue vandalizado en los años 60 y el material tuvo que ser trasladado hasta una casa en Linea y 4, en Ciudad de La Habana, esta vez bajo la custodia del Instituto Cubano de Recursos Minerales. En el año 1964 este almacén fue cerrado por razones sanitarias y se procedió al traslado urgente de las muestras a uno situado en el antiguo yacimiento de Cruz Verde-Bacuranao. En 1969 se efectuó otra mudanza hasta una casa en Guanabo, donde se logró una completa organización. Lamentablemente, este logro fue bastante efímero ya que el material fue evacuado una vez más hacia el sótano de San Pedro No 16 (primera ubicación del CIDP), donde sufrió gran deterioro debido a la humedad y pérdida de envases. Por último, se logró un mínimo de condiciones al trasladarse el almacén de núcleos para el Caribe (Santa Cruz del Norte) en 1990, donde se pensaba que era su destino final junto a los Laboratorios del CIDP y donde se encuentra en estos momentos. El mismo cuenta con un área de cerca de 25 m de fondo, 12 de ancho y 5 de alto, y armarios metálicos de una sola pieza concebidos para no moverse del lugar. En él se almacenaron restos de 8000 núcleos y una cantidad similar de cajas de ripios.



En la actualidad se estaba perdiendo parte de la información acumulada durante años de perforaciones, dado que se han deteriorado considerablemente las condiciones existentes en un inicio. El primer aspecto que ha influenciado es el lugar geográfico donde se ubica la instalación, que por la distancia y encontrarse ahora en áreas ajenas al Ceinpet, no recibe el tratamiento de mantenimiento necesario para la conservación. Los factores naturales principales son el calor, el polvo y humedad. No existe el personal idóneo que se ocupe de su cuidado. Gran parte del deterioro se debe a que el embalaje utilizado no fue el adecuado desde el primer momento (Figuras 2 y 3):



Figura 2. Almacenamiento de núcleos en papel de estraza, amarrados con sogas.



Figura 3. Muestras de canal en cajas apiladas y expuestas a la humedad.

- Los núcleos están envueltos en papel de estraza y amarrados con sogas. La manipulación de un envoltorio tan frágil ha provocado que muchos de ellos estén muy maltratados.
- Las muestras de canal están en sobres de papel y estos dentro de cajas de cartón muy endeble y apiladas inestablemente al no existir los muebles apropiados para su ubicación. Esto facilita la contaminación de las muestras y la pérdida de su ordenamiento.
- Las muestras litológicas se envasaron en saquitos de tela en espera de un local apropiado como museo para su exposición.
- Las muestras petrofísicas se guardan en cajas de madera.
- Existen numerosos núcleos parafinados en los estantes.
- También hay muchas muestras de superficie en grandes cajas de madera.

Se propuso un proyecto de recuperación y conservación del patrimonio geólogo-petrolero.

La conservación requiere en primer lugar de un local con condiciones adecuadas de espacio, temperatura y humedad. Otras condiciones del local deben ser su ubicación geográfica asequible cuando se necesite visitar, protección ante eventuales invasiones de elementos desconocedores de la importancia del material preservado. Después se necesita un embalaje óptimo para el almacenamiento, lo que se traduce en cajas del material apropiado (plástico, madera, metal) para los núcleos y las muestras de canal (cajas plásticas con o sin pomos plásticos, sobres en buen estado).

Finalmente las muestras con esta protección se ubican en estantes o muebles modulares que garanticen una utilización racional del espacio en el local, así como su organización tipo archivo

donde fácilmente se obtenga la información cuando se necesite. El control más eficaz se logra mediante la creación de una base de datos interactiva en computadoras, con un sistema de gestión implementado de acuerdo al ordenamiento de los materiales y a su utilización posterior.

Unido a esto y como manifestación del carácter de los yacimientos cubanos, está propuesto Mantener colecciones de muestras en un museo en exhibición, para prestar servicio a especialistas nacionales, extranjeros, estudiantes y otro personal interesado en la materia. En el mismo, el aspecto más destacado debe ser la expresión de los reservorios en sus parámetros más importantes.

## RESULTADOS

Resultados a alcanzar:

Prestar un servicio atractivo y de utilidad para los clientes tanto nacionales como foráneos, a un nivel de calidad competitivo con cualquier país. Este servicio incluirá, en algunos casos por el almacén y en otros por el museo:

- Obtención de cualquier información de núcleos y otras muestras, a partir de su observación directa.
- Extracción de determinadas muestras para algún tipo de análisis físico.
- Presentación de un buen material docente durante la formación de especialistas geólogos y petroleros, pero además para la enseñanza de la geología de Cuba en escuelas de cualquier nivel.
- Información de archivos a través del sistema de gestión de datos computarizado.
- Intercambio de muestras con organizaciones similares en el extranjero.
- Obtener algún soporte financiero a partir del cobro correspondiente por el uso de sus facilidades.



Figura 4. Ejemplo de litoteca con todas las condiciones requeridas (España-Tomado de Internet).

Para comenzar a solucionar los problemas, se desarrolla un proyecto para el rescate de este patrimonio, por el que ya se ha realizado el siguiente trabajo:

1. Selección del material recuperable.
2. Limpieza del almacén, con la creación de espacios para guardar el material. Clasificación, organización e inventario de las muestras de canal, muestras misceláneas y muestras litológicas recuperadas. El total de cajas inventariadas fue de cerca de 4000.
3. Creación de una base de datos computarizada para las muestras, que junto a la que existía de núcleos y de petrofísica, conforman una información precaria, pero de gran ayuda para el
4. resto de los proyectos que se apoyan en estos materiales para su desarrollo.
5. Cambio de envase de las cajas de cartón, distribuidas en:
  - Cajas de polipropileno con frascos de 3 gr: recuperadas de pozos con la información duplicada.

- o Contenedores, con nervios de refuerzo, de polipropileno virgen de alta densidad, con 10 litros de capacidad en litros y dimensiones de 300 x 400 x 100 mm. (Figuras 5y 6)



Figura 5. Cajas de polipropileno con frascos de 3 gr



Figura 6. Contenedor de polipropileno con nervios de refuerzo.

6. Creación de una nueva base de datos computarizada para las muestras, a partir de su cambio de envase para las cajas plásticas. Esta base de datos continua siendo provisional, hasta tanto se trasladen definitivamente para el nuevo almacén.

#### INVENTARIO DE CAJAS RECUPERADAS

ESTANTE	YACIMIENTO	POZO	TOPE	BASE	NRO. DE LA CAJA	OBSERVACIONES
14A.1	Jaruco	1	472	668	1	
14A.1	Jaruco	1	670	878	2	
14A.1	Jaruco	1	882	1030	3	
14A.1	B. de Jaruco	24	780	974	1	
14A.1	B. de Jaruco	25	764	1452	1	una caja
14A.1	B. de Jaruco	26	602	640	1	
14A.1	B. de Jaruco	3	1166		1	la misma caja
14A.1	B. de Jaruco	4	610	1074	1	
14A.1	B. de Jaruco	13	1004	2158	1	
14A.1	B. de Jaruco	22	942.5		1	
14A.1	B. de Jaruco	22A	892	1826	1	
14A.1	B. de Jaruco	37	1442	1828	1	Lito y Paleo
14A.1	B. de Jaruco	37	1834	1956	2	Lito y Paleo

#### INVENTARIO DE CAJAS NUEVAS

NRO. DE LA CAJA	YACIMIENTO	POZO	TOPE	BASE	TIPO DE MUESTRA	SOBRES	OBSERVACIONES
1	B. de Jaruco	806	2330	3110		128	
3	B. de Jaruco	803	580	3120		117	
4	B. de Jaruco	801	840	1550		72	
5	B. de Jaruco	801	1560	2500		90	
7	B. de Jaruco	800	2610	2880		27	
8	B. de Jaruco	504	1508	1872	Litología	127	la misma caja

8	B. de Jaruco	504	1362	1916	Paleontología		
9	B. de Jaruco	502	662	1368	Litología	98	
10	B. de Jaruco	502	1370	1972	Litología	71	

Como solución para el local, se ha analizado la posibilidad de remodelar una instalación del CEINPET con ubicación cercana a la Ciudad, con dimensiones: Largo: 22.5 m, Ancho: 7.05 m y Alto: 3.20 m que necesita determinados requerimientos para que esté en condiciones de servir de almacén geológico o litoteca. Permite la construcción de oficina interna de: 4.5 x 3 m, y permite almacenar 13056 cajas grandes y 18 600 cajas pequeñas en estantes de 80 y 70 cm respectivamente.

Queda pendiente la solución a la creación de un museo para la conservación y exposición de un grupo de muestras litológicas que son la expresión de las formaciones que constituyen los yacimientos petroleros de Cuba.



Figura 7. Muestras litológicas en espera de local y mobiliario apropiado para el Museo.

## CONCLUSIONES

- La pérdida de la información primaria constituye una situación preocupante y un problema a resolver no solo en nuestro país, sino a nivel internacional.
- Debido a los innumerables traslados del material geológico en nuestro país, éste ha sufrido un deterioro considerable que afectaría el reestudio de áreas que no se volverán a perforar.
- Se han realizado trabajos de selección, clasificación, organización e inventario de las muestras de canal y muestras litológicas recuperadas, así como la creación de una nueva base de datos computarizada.
- Para garantizar la conservación a largo plazo del material se realiza el cambio de envase de las cajas de cartón a cajas de polipropileno recuperadas de pozos y contenedores del mismo material virgen de alta densidad.
- Se prevé el emplazamiento definitivo de esta información en un local cercano a la ciudad y con las condiciones indispensables como corresponde a este patrimonio del conocimiento geológico.

## BIBLIOGRAFIA

1. Montgomery S., 1999. "Core values: The growing need for repositories". OIL&GAS JOURNAL.
2. Solari Lovati L. A. 2003. Ponencia en SEMINARIOS DE DIAGNOSTICO LOCALES: "Análisis de las problemáticas relacionadas al almacenamiento de muestras y al servicio de laminación del IGL. Posibles soluciones".
3. Sitio Web: <http://www.congreso.unam.mx/ponsemloc/ponencias/10.html>  
Centro Nacional de Información Hidrocarbúfera.
4. Sitio Web: [http://www.ypfb.gov.bo/cnih/CNIH\\_YPFB.htm](http://www.ypfb.gov.bo/cnih/CNIH_YPFB.htm)



## POTENCIAL GEÓLOGO-GEOMORFOLÓGICO PATRIMONIAL DE LA REGIÓN DE MOA PARA LA PROPUESTA DE UN MODELO DE GESTIÓN.

**Leomaris Domínguez González** y Aliuska Peña Reyna.

Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Las Coloradas s/n Moa Holguín Cuba,  
E-mail: ldominguez@ismm.edu.cu

### RESUMEN

En la región de Moa, las potencialidades patrimoniales geológico-geomorfológicas poseen singularidades geológicas y geomorfológicas, a partir de los diferentes procesos geológicos que le dieron origen, las que pueden ser aprovechadas por su valor patrimonial. Aparecen bien desarrolladas rocas del macizo Moa-Baracoa donde se aprecia el emplazamiento de tectónico de las unidades ofiolíticas, sobre las que se originaron extensas cortezas lateríticas de Fe-Ni-Co, uno de los ejemplos más grandes de este tipo de depósitos a nivel mundial, se exhiben gabros bandeados representando zonas de suprasubducción, existen depósitos de cromitas de importancia económica, el más grande de Cuba y del Continente Americano. Se ubica en esta región la ciudad minera de Moa donde se concentran las principales industrias minero metalúrgicas del país en la actualidad.

La presente investigación permitirá abordar mejor el concepto de gestión geológica del desarrollo sostenible. Se propone un modelo de gestión de desarrollo sostenible de las potencialidades de Trayectos Geoturísticos, el cual constituiría una herramienta de trabajo para el turismo y material de consulta al emprender proyectos de desarrollo regional. Se confeccionó una ficha donde se caracterizan y evalúan las potencialidades que serán propuestas como sitios de interés patrimonial. Se elaboró un catálogo el cual sería utilizado en los distintos trayectos como material de apoyo. Se obtuvo un mapa de Trayectos Geoturísticos que muestra los recorridos, los tipos y subtipos de patrimonio geológico, así como la información necesaria para una adecuada aplicación del modelo de gestión. Finalmente se confeccionaron materiales para la difusión de las potencialidades.

### ABSTRACT

In the region of Moa, the geologic-geomorphologic patrimonial potentialities possess geological and geomorphologic singularities starting from the different geological processes from which they originate, those that can be used for their patrimonial value. The Moa-Baracoa massive rocks appear to be well developed, where the location of the tectonic ophiolitic units are appreciated, overlying them are the vast extensions of Fe-Ni-Co lateritic crusts, one of the world's greatest deposits of this type, profile banded gabbros are exhibited, representing suprasubduction zones; existing also are deposits of chromites which are of economic importance. These include the biggest deposit in Cuba and the American Continent. The mining city of Moa is located in this region, where the principal mining and metallurgical industries of the country are concentrated today.

The present research will allow a better approach to the concept of geological administration of the sustainable development. An administrative model on the sustainable development of the potentialities of ecotourism projects is proposed, which will comprise the methodology of the work for tourism and material of consultation in the implementation of the regional development projects. A model has been made in which those potentialities proposed to be of patrimonial interest will be characterized and evaluated. A catalogue to be used in the various projects has been elaborated, which will serve as a support material. A geotouristic project map has been traced, in which the routes, types and subtypes of geological patrimony are illustrated, as well as the necessary information for an adequate application of the administrative model. Finally, materials for the diffusion of the potentialities were made.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo socioeconómico cubano exige el crecimiento de la actividad turística, lo que implica la proyección y construcción de nuevas instalaciones que aumenten la capacidad y variedad de las ofertas. En la región de Moa, las potencialidades geológico-geomorfológicas poseen singularidades a partir de los procesos que le dieron origen, las que pueden ser aprovechadas por su valor patrimonial teniendo presente la preservación, conservación y protección de afloramientos.

La región de Moa por trascendencia histórica su atractivo principal lo ha constituido la industria del Níquel. El presente trabajo permitirá abordar mejor el concepto de gestión geológica del desarrollo sostenible, mostrar las experiencias de esta actividad a partir de la protección y el aprovechamiento racional de los recursos como patrimonio geológico, cultural y natural en la región de Moa.

El municipio de Moa se encuentra ubicado en el extremo oriental de la provincia de Holguín (Fig.1). El relieve es predominantemente montañoso hacia el sur disminuyendo gradualmente hacia la costa, constituido por colinas elevadas, y pequeñas y medianas mesetas.



Figura. 1. Mapa de ubicación geográfica.

El clima es tropical y la red hidrográfica está bien desarrollada. La vegetación se caracteriza por la existencia de bosques de *Pinus cubensis*, matorrales, algunas palmeras, cocoteros y árboles frutales. La fauna del municipio es rica y diversa. La ciudad de Moa está enlazada por carretera con todo el país, por vía aérea existe comunicación con Ciudad de la Habana, y Holguín. Existe un puerto marítimo que permite el atraque de buques de mediano calado. Económicamente la región está dentro de las más industrializadas del país por los minerales de Níquel.

### Geología y geomorfología.

Geológicamente se caracteriza por su complejidad, se encuentra enclavada en el límite norte del conocido como Bloque Oriental Cubano caracterizado por alta complejidad geológico tectónica. Las Ofiolitas septentrionales representadas por rocas ultrabásicas está constituido predominantemente por harzburgitas y subordinadamente dunitas, lherzolitas y piroxenitas. El complejo máfico está representado por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales. La formación Santo Domingo, única representante del arco volcánico cretácico en el área, está constituida por tobas, lavas y aglomerados. Pertenecientes a la cuencas de piggy-back de la primera generación del Cretácico Superior al Paleoceno Inferior, afloran en el área las formaciones La Picota y Mícara, de tipo molásico y flyschoides respectivamente. La actividad volcánica del Paleógeno representada por la formación Sabaneta constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas, con



intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas. Pertenecientes a las cuencas superpuestas o *piggy-back* de la segunda generación aflora en el área la formación Capiro compuesta por areniscas, aleurolitas y margas. El neoa autóctono, constituido por secuencias sedimentarias, aparece representado por las formaciones Júcaro y Majimiana. Sobre todas las litologías antes descritas se encuentran los depósitos cuaternarios.

Se distinguen en la región muchas morfoestructuras originadas por los procesos geodinámicos que se iniciaron a fines del Mesozoico continuaron hasta el Paleógeno, a consecuencia de los cuales se formó el sistema de escamas tectónicas que caracteriza al complejo ofiolítico y que son parcialmente enmascaradas por una vigorosa reestructuración neotectónica. Genéticamente el relieve de Moa está clasificado dentro del tipo de Horst y grabens. Se distinguen dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanura y la zona de relieve de montañas.

A pesar del buen nivel de conocimientos de la geología en la región de Moa, no existe un conocimiento exhaustivo de los lugares y afloramientos que requieren una preservación y protección especial. Aún así, son abundantes los lugares conocidos y nombrados en la bibliografía que es necesario preservar como patrimonio geológico, muchos de ellos incluidos en áreas naturales protegidas. Por otro lado, no existe un documento que los recoja y sirva de marco de referencia en la toma de decisiones relacionada con la planificación y gestión del territorio.

Los sitios de interés no han tenido un tratamiento adecuado de gestión sostenible de los georecursos aunque se han realizado investigaciones sobre la temática que contemplan la región. En 2002 se confeccionó una metodología para la inventarización de los sitios de interés patrimonial en las provincias orientales por Cobas y Aliaga. Lacaba en 2001, realiza una evaluación para la conservación del patrimonio minero en Cuba. Estas investigaciones no exponen un modelo de gestión sostenible de los recursos naturales para ser utilizadas dentro de la oferta turística y el desarrollo regional.

Esta investigación se realiza debido que existe un gran potencial patrimonial en la región que aún no se ha explotado con fines geoturísticos, el cual con la evaluación y elección del modelo de gestión se abordaría el concepto de gestión geológica de desarrollo sostenible, además para concienciar a la población de los recursos que dispone, su cuidado y protección. Mostrar que en el contexto del cierre de minas estas potencialidades deben de tenerse presentes para el ordenamiento territorial.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

A partir del estudio de las particularidades geológicas de la región tanto por recopilación bibliográfica, consulta con especialistas. Se realizan visitas a los diferentes afloramientos y sitios con el objetivo de documentar minuciosamente todos los elementos y toma de fotografías. Se realizan varias entrevistas a diferentes especialistas en la temática del patrimonio que puedan sugerir algún modelo de gestión, aspectos que puedan incorporarse al evaluar los sitios. Se define el posible tipo o subtipo de patrimonio, se describen los rasgos geológicos o geomorfológicos singulares, así como se definen los recursos de importancia especial, de gran valor y fragilidad específica en base a su significado científico, educativo y recreativo.

Se hace una primera aproximación de su valor dependiendo de su interés de estudio, si es desde el punto de vista de la calidad escénica contemplativa, interés paisajístico, o de la calidad

geocientífica intrínseca, interés científico-educativo. Se establece el estado actual de su conservación, se resalta los casos en que se observa fragilidad o necesidad urgente de implementación urgente de medidas de protección.

Se confecciona el inventario de todos los lugares documentados, el cual sirve de base para la caracterización de los sitios. Para el inventario de los Puntos de Interés Geológico (PIG) y los geotopos se confeccionaron fichas integradoras, donde se recoge en gran medida los rasgos más característicos y esenciales de cada PIG o geotopo. Estas tienen una codificación de acuerdo al lugar donde se realiza el inventario con el objetivo que quede registrado una jerarquía que valora íntegramente al PIG o al geotopo.

Se procede a la caracterización de los PIG donde se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: La localización de cada sitio en la región con sus coordenadas geográficas, el agrupamiento de los PIG se realizó teniendo en cuenta el nivel de accesibilidad de acuerdo a las vías de acceso y posición espacial respecto al núcleo poblacional más importante que es la ciudad de Moa.

Para ello se elaboró una planilla o ficha de registro individual para cada PIG en la cual la figuran: un campo para código único de dos cifras en números arábigos que se asigna a cada departamento por ejemplo 01; 02;.....14; 15; un campo para el nombre de localidad más próxima a geotopo y distancia en kilómetros; un campo correspondiente a un código único para cada PIG, compuesto por cinco cifras en números arábigos, de las cuales las dos primeras cifras (de izquierda a derecha) son las correspondientes al código de departamento respectivos, y las tres últimas al número con que se identifique el PIG (por ejemplo: 0102; 0101,etc), comenzando desde 001 en cada departamento; un campo correspondiente al tipo de interés, subdividido por en tres campos, por su contenido, por su utilización, por su influencia (Tabla I).

Se considera en cada caso: Por su contenido (Estratigráfico, Paleontológico, Tectónico, Hidrogeológico, Petrológico, Minero, Mineralógico, Geomorfológico, Geofísico, Geoquímico, Coleccionista, Museos), por su utilización (Turístico, Científico, Didáctico, Económico), por su influencia (Local, Provincial, Nacional, Internacional).

Consta de cuatro bloques y un espacio para información complementaria:

- Boque de Identificación: Se ubica el código del PIG que coincida con la planilla de registro y la denominación del punto.
- Bloque de Localización: Se indican diversos datos de ubicación según la ubicación en la división política provincial y departamental; se registran sus coordenadas espaciales, se indica su ubicación cartográfica y la localidad más cercana y la distancia en kilómetros. Se grafica un croquis de ubicación y se describen las potencialidades de acceso al punto.
- Bloque de Descripción: Se reseña el contenido del PIG, su estado de conservación y las referencias bibliográficas y de personas conocedoras del sitio.
- Bloque de Clasificación según el tipo de interés: Se clasifican los PIG por su contenido, por su utilización y por su influencia, con los mismos ítems que se emplean para la planilla de registro, agregando en cada caso la valoración Alto, Medio o Bajo.
- Espacio para Observaciones, comentarios y anexos fotográficos.

### **Aspectos a tomar en consideración en la evaluación de los geotopos.**

- Rareza (singularidad): Hay objetos raros a nivel global, hasta local, que por su rareza deben ser protegidos y conservados.
- Integralidad o integridad: en el sentido de la totalidad (todas las partes de una información compleja)
- Representatividad: De algún proceso o suceso de la historia de la tierra. Forma típica de representar dicho proceso o suceso.
- Prominencia: (frente a otros objetos similares). Cuando son múltiples la representaciones, no se puede inventariar y proteger todas, se coge la mas destacada, o mas accesible o más visible; se reserva otro para encasa de la falta de primeras.
- Estado de conservación y originalidad: Se escoge los objetos que en lo posible estén sin o con poca intervención humana, lo que no implica que una destrucción parcial le medite descartar un objeto del inventario.
- Belleza: Es un objeto sujeto, que sin embargo es posible cuantificar según cánones de sentido común.
- Calidad didáctica: Presentación adecuada o no para fines educativos.
- Interés científico : Localidades reservadas para estudio posteriores.
- Importancia histórica cultural: Sitio donde se localizan minas antiguas, canteras, testigo de catástrofes por fenómeno naturales.

### **Aspectos de valor extrínseco.**

Los aspectos de valor extrínseco, que pueden aumentar o disminuir el valor por motivos ajenos al geotopos no solo para la investigación sino para visitas turísticas.

- Situación geográfica : Para facilitar visitas, mientras mas cerca de centro más poblado, más valor.
- Visibilidad: Un objeto puede ser destacable, pero podría ser observable o no en toda su representatividad o magnitud según si se presenta sin o poco meteorizado, no cubierto por vegetación, no urbanizado.
- Accesibilidad: La menor o mayor dificultad de acceder al sitio donde se encuentra un de interés.
- Originalidad: nada o poco intervenido por el hombre, es decir, natural. Pero hay geotopos producidos por el hombre, que no por no ser natural, son importante y valioso, como aquellos resultados de la actividad humana. Afloramiento en corte de caminos y carreteras, y en excavaciones resultante del tendido de infraestructuras en general, así como la actividades económicas: minería, canteras.
- Importancia internacional regional municipal o local: Por el valor intrínseco del objeto geocientífico, este tiene un valor en una escala especial.

### **Criterios para evaluar.**

- Situación Geográfica: (4) cerca de la ciudad, (3) distancia moderada, (2) lejos, (1) muy lejos.
- Viabilidad: (1) Poco viable, (2) viable, (3) muy viable.
- Acceso: (5) muy fácil, (4) fácil, (3) regular, (2) difícil, (1) muy difícil.
- Rareza: (5) muy raro, (4) raro, (3) corriente, (2) común, (1) muy común.
- Representatividad: (5) representativo, (4) importante, (3) corriente, (2) poco representativo, (1) indiferente.

- Estado de Conservación: (5) Conservado, (4) poco conservado, (3) estado aceptable, (2) deteriorado, (1) totalmente deteriorado.
- Belleza: (4) Espectacular, (3) bello, (2) agradable, (1) corriente, (0) carente de belleza.
- Cualidades didácticas: (5) muy alta, (4) alta, (3) regular, (2) baja, (1) muy baja.
- Importancia histórica-cultural: (5) muy alto, (4) alto, (3) regular, (2) bajo, (1) muy bajo.

Finamente se procede a la elección de la propuesta del modelo de gestión, que responda a las exigencias de la realidad actual de desarrollo sostenible sobre la base del diagnóstico anteriormente, se formula la propuesta que tiene como ejes centrales la conservación, valorización, estudio y difusión del patrimonio cultural.

Como resultado del procesamiento de la información se procedió a la confección del mapa de trayectos geoturísticos que incluye la ubicación de los geotopos y la clasificación de las potencialidades de acuerdo al contenido, así como, los materiales necesarios para la gestión de los sitios de interés patrimonial con vista a emprender proyectos futuros de ordenamiento en la región.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El patrimonio geológico, no es mas que los recursos naturales no renovables de valor científico, cultural o educativo y/o de interés paisajístico recreativo, ya sean formaciones rocosas, estructuras, geoformas, acumulaciones sedimentarias, ocurrencias minerales, paleontológicas y otras, que permitan reconocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia geológica de la tierra y los procesos que lo han modelado.

El inventario, catalogación, divulgación y protección del Patrimonio Geológico es de vital importancia, es considerado, como una característica de los países culturalmente avanzados, constituyen una parte fundamental de su patrimonio cultural siendo así incluido y considerados en el contexto de la gestión del territorio.

En la Constitución de la República de Cuba en el artículo 39 inciso i) y h) se establece la conservación del patrimonio cultural y natural promoviendo la participación ciudadana en su protección y conservación y educación. Así en 1977 se decretó la Ley No 1 el 16 de agosto 1977 como Ley del Patrimonio Cultural y en 1994 se crea la Comisión Nacional de Patrimonio. Las importantes riquezas geológicas de Cuba constituyen un medio privilegiado.

### Potencialidades patrimoniales geológicas y geomorfológicas de la región de Moa.

0102. Afloramiento de diques en Yaguaneque. Este afloramiento de diques de garbos tardíos en garbos, los que están instruyendo unos garbos mucho más melanocráticos. Proceso metasomático de Rodigitización, existe un incremento en los contenidos de calcio y aluminio. Aparecen las secuencias invertidas, las peridotitas están en la parte superior. Este afloramiento se puede catalogar como único aunque su génesis es muy confusa. (Comunicación oral de Rodríguez, 2004). Su interés como PIGM radica en interés geológico, geoquímica de valor científico para el estudio de las ofiolitas de la región. Su valor como sitio de interés patrimonial radica en lo geológico tectónico y su morfología, posee además marcado interés didáctico y científico, puede ser empleado como medio geoturístico de gran originalidad de zonas de montañas.

0101. Afloramiento de vetas de magnesita, en rocas ultrabásicas. En la entrada de la ciudad de Moa aparece un gran afloramiento se pueden presenciar varias vetas de magnesita, en rocas ultrabásicas. Desde el punto de vista estructural se reflejan las estructuras formadas durante el emplazamiento tectónico de las ofiolitas. Se aprecia perfectamente la foliación de las rocas y las rocas cizalladas, se observan los mantos de cabalgamiento y formación de budines. La importancia del corte está dada por su representatividad estructural. Su interés como PIGM radica en que muestra la situación geológica tectónica de la región con un interés didáctico, científico y geoturístico.

0301. Afloramientos de lateritas entre el Río Punta Gorda y el Río Cayo Guam. Estos afloramientos representan las potentes cortezas de intemperismo que hoy constituyen los yacimientos lateríticos de Fe- Ni-Co de la región de Moa. Se aprecia el corte típico de los depósitos lateríticos, se observan cuatro niveles. Al Este se reflejan índices de movimientos recientes, depósitos de conglomerados de origen fluvial de edad cuaternaria con posición hipsométrica anómala. Por encima de estas secuencias yacen secuencias de lateritas redepositadas representando el ambiente de deposición. Su interés científico como PIGM, radica en el valor petrológico y geomorfológico que muestra aspectos citados.

0302. Afloramiento de Gabros Bandeados Camariocas. En los complejos ofiolíticos, el límite superior de Moho Transición Zona, viene definida por estos niveles de gabros bandeados, los cuales reflejan la composición y estructuras de la corteza oceánica inferior. Estos niveles consisten generalmente en unidades cíclicas de gabros, los cuales muestran un bandeo composicional definido por variaciones en las proporciones modales de los componentes mayoritarios, clinopiroxenos, plagioclasas y olivino. Los gabros bandeados en los complejos ofiolíticos representan la transición física del manto a la corteza y puede ser equivalentes a las denominadas Moho Petrológico y Moho Geofísico. Los niveles de gabros bandeados presentan características representativas de gabros de ofiolitas en zonas de suprasubducción. Radica un interés geológico de la asociación ofiolítica, las cuales son de gran belleza y además son de valor científico y didáctico.

0401 Yacimiento de Níquel en lateritas. La asociación ofiolítica representa la antigua corteza oceánica, en Cuba estas rocas forman un largo cinturón que se extiende por la costa norte, ocupada desde el punto de vista espacial entre el margen continental y el arco volcánico del Cretácico. Estas rocas en determinadas condiciones originaron las extensas cortezas lateríticas de Fe-Ni-Co, uno de los ejemplos más grandes de este tipo de depósitos a nivel mundial, constituye la más extensa región minera del país. Se aprecia el corte típico de los depósitos lateríticos y el emplazamiento de las ofiolitas. Por transcendencia histórica son estos yacimientos los que le han aportado ciertos económicos y culturales a la región. Muchos personas de tierras vecinas en busca de empleo y mejores condiciones de vida han migrado a estas tierras, lo que ha propiciado el crecimiento de la ciudad minera de Moa el principal núcleo poblacional de la región. Su valor patrimonial radica en mineralógico y económico desde el punto de vista científico e histórico y cultural desde el punto de vista social.

0303. Mineralización cromíferas del yacimiento Cayo Guam. El yacimiento se localiza desde el punto de vista geológico concordante a las rocas del complejo de ultramafitas y gabroide en forma de lentes. El yacimiento Cayo Guam, fue explotado por primera vez entre 1918 y 1919, Los trabajos finales de explotación se realizaron en 1981, el cierre de este depósito se debió al agotamiento de las reservas extraídas. Fue por donde se inició la actividad minera en la región y donde surgió el primer asentamiento poblacional de los obreros de la mina, localizado más al norte en Punta Gorda. Un rasgo característico lo constituye el gran desarrollo de diques de



pegmatoides gabroicos, que cortan a los cuerpos de cromititas y a los demás tipos litológicos presentes. Su valor como punto de interés patrimonial está dado por su valor petrológico, económico, cultural e histórico, sumado la belleza natural de su entorno.

0304. Mineralización cromíferas en el yacimiento Mercedita. El campo menífero está situado cerca del contacto con un gran macizo de gabroide. Las rocas ultrabásica que encajan la mineralización cromítica está comúnmente serpentínizada, en ella se destacan la presencia de peridotitas, dunitas y serpentinitas. Está constituido por varios cuerpos lenticulares, los lentes de cromititas suelen englobar cuerpos tabulares de gabros (sills) alineados paralelamente a la orientación del lente. Los cuerpos de cromititas están cortados por diques tardíos de gabros y pegmatoides gabroicos. Estos depósitos de cromititas ofiolíticas de importancia económica se asocian, exclusivamente, a complejos de ofiolíticos en los que se le reconocen características geoquímicas de zonas de suprasubducción. Estas cromititas ricas en aluminio (grado metalúrgico). Incluye el depósito de cromita ofiolítica más grande de Cuba y del Continente Americano. Su interés científico como PIGM, radica en el geológico, para estudiar de las cromititas, ahí radica su valor petrológico. Su importancia económica, refleja una típica minería subterránea, el ambiente natural y fresco de su entorno, la comunidad serrana le confieren un valor cultural importante.

0201. Paisaje Cársico Cueva de Farallones. El ambiente tropical a propiciado que en las secuencias carbonatadas se desarrolle el fenómeno del Carso donde el mismo se ha manifestado de diferentes formas, como las dolinas, cavernas, se observan pendientes muy abruptas dando un aspecto de pequeños mogotes. El valor patrimonial esta dado por el desarrollo de formas cársticas las cuales están bien representadas. Se aprecia el desarrollo del Carso subterráneo donde el río Moa penetra los farallones calizos dando origen a una forma singular y de gran belleza conocido como *La Cueva de Farallones*. La manifestación superficial de los procesos cársticos se puede considerar de representatividad en forma de farallones y diente de perro; su estado de conservación es bueno y de gran belleza, posee un valor agregado dado por su interés espeleológico posee fines educativos geoturísticos y alto interés científico; es de gran importancia histórica cultural puesto que muy próximo se asienta una comunidad serrana con costumbres muy singulares.

### **Modelo de gestión de las potencialidades de la región de Moa.**

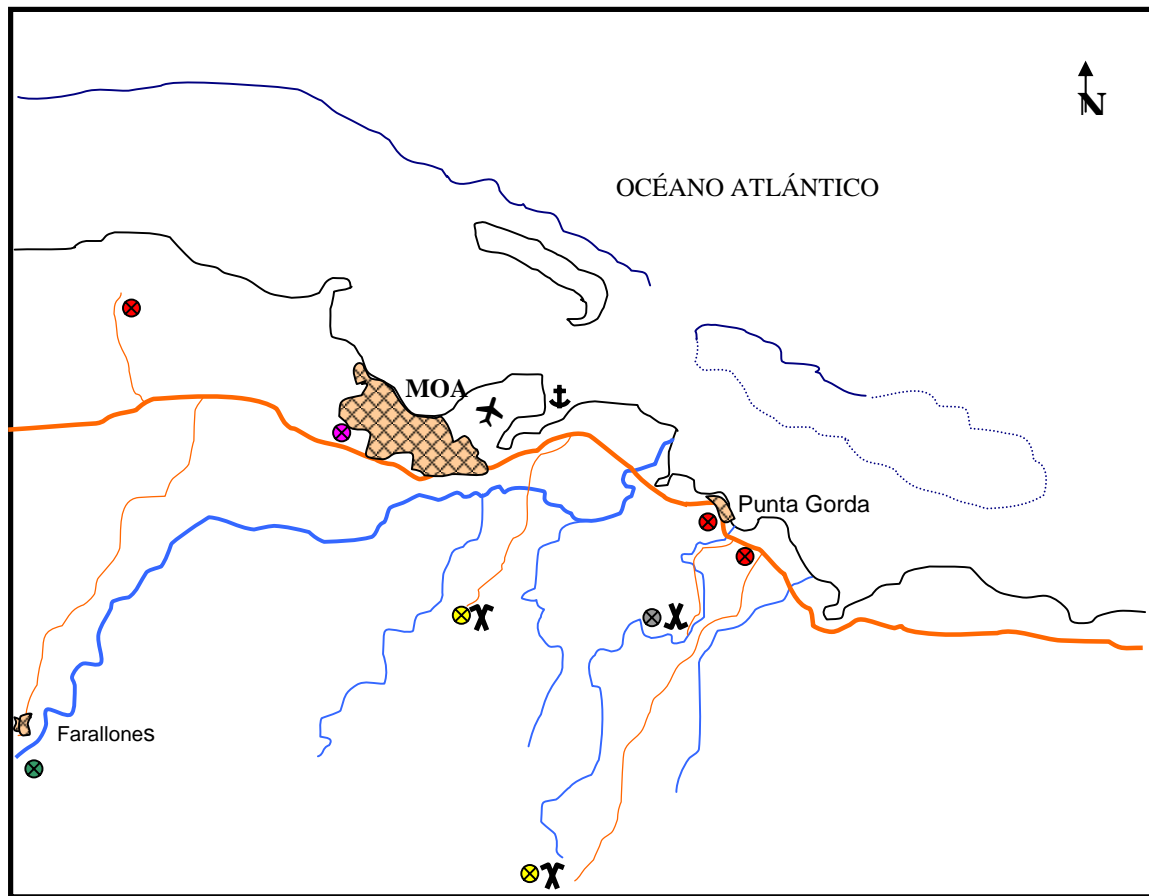
La elección de un modelo de gestión tiene como objetivo fundamental poner en marcha una operación de unión y solidaridad entre los espacios naturales o no de diferentes zonas. Las acciones desarrolladas en este proyecto constituyen un conjunto de intercambio de experiencias y actuaciones comunes basadas en el desarrollo sostenible, entre las que se encuentra la valorización de un patrimonio poco conocido: el patrimonio geológico. Los instrumentos esenciales del éxito de este modelo, es la educación ambiental, participación ciudadana y comunicación social en la gestión y conservación de los recursos naturales. Esta modalidad de turismo de patrimonio geomorfológico asociado a los espacios naturales el atractivo turístico más explotado mundialmente.

En la región que nos ocupa, la gran cantidad de arroyos y manantiales, la vegetación exuberante y la morfología de relieve propician un ambiente natural confortable que puede ser utilizado con fines turísticos, por lo cual se ha decidido como modelo general el los Trayectos Geoturísticos el cual estará acompañado de un Mapa de recorridos y la ficha correspondiente a cada Sitio de Interés Geológico (Fig.2). Este modelo debe irse particularizado a cada sitio con un catálogo diseñado de acuerdo al tipo e interés del cliente.



Trayectos Geoturísticos: Encaminado fundamentalmente a organizar expediciones dirigidas a explotar una serie de paisajes atractivos con el objetivo de tener un contacto directo con el espacio natural. Este atractivo es el más empleado mundialmente. Los trayectos turísticos, didácticos, sociales y científicos elegidos, están diseñados según un mapa que agrupa cada geotopo por su ubicación geográfica y contexto.

### TRAYECTOS GEOTURÍSTICOS



### SIMBOLOGÍA

● Interés Geomorfológico	■ Núcleo Poblacional
⊗ Interés Petrológico	— Ríos
⊗ Interés Estructural	— Barrera coralina
⊗ Interés Económico	⌘ Zonas mineras
⊗ Interés Histórico-Cultural	✈ Aeropuerto
— Trayectos geoturísticos	⚓ Puerto Marítimo

Fig. 2. Mapa esquemático de los Trayectos Geoturísticos de la región de Moa.

Se buscó las vías de acceso como las carreteras y punto inicial de los recorridos la Ciudad de Moa por su posición geográfica respecto a cada geotopo y su accesibilidad con el resto del país. Cada geotopo está representado con una simbología acorde con el tipo o subtipo de patrimonio.

La organización y planificación de expediciones, a pie o cuando se viaje a través de vehículos, estarán ordenadas de acuerdo a lo que se plantea en este trabajo, con el fin de visitar cuevas, saltos de agua, rasgos de la actividad volcánica y tectónica y belleza paisajística para promover e incentivar el Geoturismo en la región. En esta zona existe un espacio natural protegido como el parque de Alejandro de Humbolt. Desde el aspecto económico proporcionaría diferentes alternativas de uso: uso recreativo, zonas de ocio, museos naturales y parques naturales, todos ellos fuentes de ingresos.

En el región y su entorno tiene impacto directo, mediante diversos medios como la creación de empleo y de actividades comerciales relacionadas con el parque o región. Para ello se ha de estimular la creación de empresas innovadoras, locales y pequeñas tales como de construcción de alojamientos rurales, establecimientos de ventas de productos naturales, empresas geoturísticas y de elaboración de geoproductos, como souvenir (muestras de minerales, moldes de fósiles y tallas en piedras).

Dentro de los medios que pueden favorecer esta gestión y divulgación del patrimonio para la región son:

Estampillas: Estas pequeñas series han sido causa de temas de colección, su particularidad la hacen en ocasiones únicas en el mundo. Puede plasmarse en ellas imágenes de sitios interesantes los cuales pueden ser objetos de colección y ampliar el mercado y su difusión por el mundo.

Tarjetas Postales: Esta forma gráfica de propaganda, es muy común para acompañar obsequios en nuestro país los días festivos. Por lo que es conveniente incluir dentro del diseño imágenes sobre estos lugares.

Exposiciones de artistas: Incentivar y promover que los artistas locales utilicen como temática principal en sus obras los lugares singulares de la región. Que sea un espacio de difusión cuando se monten las exposiciones en las galerías o cuando sean vendidas al cliente.

Carteles y plegables: Dentro de la propaganda gráfica se tienen estos medios que muestran imágenes que reflejan los valores culturales, sociales y paisajísticos de admirable belleza. Los sitios de interés pueden ser incluidos dentro del diseño de los mismos tales como afloramientos, cuevas, saltos de agua, paisajes geomorfológicos.

Señalización con placas los monumentos geológicos: La señalización de los objetos en las vías es una herramienta práctica para mostrar los objetos geológicos que el viajero puede encontrar en el transcurso de su viaje, e incluso motivarse y visitarlo. Estas placas deben tener una descripción breve de las características del lugar y el interés patrimonial.

Tarjetas prepagadas de llamadas telefónicas: Las tarjetas son una vía de comunicación fácil que se utiliza muy frecuente en las cuales puede incluirse paisajes naturales y sitios de interés patrimonial de gran belleza.

Proyectos de investigación y comunitarios: los proyectos de investigación encaminados a disminuir la brecha entre el conocimiento y lo desconocido son atractivos, mientras menos misterios encierre un elemento relevante, conociendo los procesos que le dieron origen al

subsuelo donde viven, como evolucionó y otras interrogantes, las personas se motivan en el cuidado y lo aprecian más.

En el aspecto social las comunidades se beneficiarían en la educación y formación de profesionales en estas y otras materias con el fin de ir las concienciándolas en la preservación y restauración del entorno. El nivel cultural se enfoca hacia un modelo más dinámico y con una importante carga en los aspectos humanos donde se puede apreciar el trabajo manual y artesanal. Aporta un valor añadido a las numerosas visitas técnicas, a las reuniones científicas o culturales que se celebren en el entorno. Se rescatarían sitios, edificaciones y documentos que muestren la actividad minera y cultural de generaciones pasadas. Constituiría una herramienta pedagógica para la educación ambiental, formación e investigación relacionadas con disciplinas científicas.

Muchos de estas potencialidades necesitan un tratamiento y restauración, tal es el caso del afloramiento de serpentinitas y diques de magnesita a la entrada de la ciudad de Moa. Aparecen restos de desechos sólidos en volumen considerable dando un aspecto deplorable. Acondicionando las ruinas testigos de la minería en Cayo Guam, destacando el valor histórico cultural de los obreros que trabajaban en la mina y del asentamiento poblacional de Punta Gorda.

Dentro de plan de ordenación territorial, ayudará a gestionar y promover el sitio designado como patrimonio geológico y minero. La propuesta del modelo de gestión tendrá incluido la documentación necesaria para la propuesta los sitios de interés patrimonial para ser declarados como patrimonio el cual debe estar amparado dentro del marco legal correspondiente.

## CONCLUSIONES

En la región existen ocho potencialidades geólogo geomorfológicas patrimoniales que pueden ser utilizadas con fines turísticos, teniendo en cuenta, la gran cantidad de arroyos y manantiales, la vegetación exuberante y la morfología de relieve propician un ambiente natural confortable.


Se propone el modelo de gestión de desarrollo sostenible de Trayectos Geoturísticos, el cual constituiría una herramienta de trabajo para el turismo y material de consulta al emprender proyectos de desarrollo regional.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ayala-Carcedo, F. J., 2000. Patrimonio cultural y natural y desarrollo sostenible: el patrimonio geológico y minero. Rabano, I. (Ed), Patrimonio geológico y minero en el marco del desarrollo Sostenible. Colección de temas vol. 31 I.G.M.E., Madrid 17-39p.
- Carvajal, D., A. González, 2001. La contribución del patrimonio geológico y minero al desarrollo sostenible. Universidad de Huelva. España. 27-51p.
- Cobas, Y., R. Aliaga, 2002. Metodología y evaluación del patrimonio geológico minero de la provincia de Holguín y Guantánamo. Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. Cuba. 80p
- Cornejo, M. P. Carrión, A. Becerra, L. Ladines. 2002. Preliminar del Patrimonio Geológico y Minero en el Ecuador. (Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Ecuador. 215-232p.
- García Cortes, A., Baretino, D. Gallego, E. 2000. Inventario y catalogación del Patrimonio Geológico español. Revisión histórica y propuestas de futuro". Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión. España. 12p.

Lacaba R., R. Blanco Torrens., R. Rodríguez. 2001. Evaluación y conservación del patrimonio geológico minero en Cuba. Coloquio Iberoamericano Patrimonio Geológico y Minero. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. 203-214p.

Tabla I. Ejemplo de ficha de registro para el afloramiento de gabros bandeados.

<b>Código: 0303</b>			
Nombre: Afloramiento de gabros bandeados de Camariocas			
Subtipo: Petrológico			
Ubicación: X: 707 600 Y: 218 400			
Lugar más cercano: Punta Gorda			
<b>Valoración</b>			
Situación Geográfica	3		
Viabilidad	3		
Acceso	5		
Rareza	4		
Representatividad	5		
Estado de Conservación	5		
Belleza	4		
Cualidades didácticas	4		
Importancia Histórica Cultural	3		
<b>Observaciones:</b>			
<p>En los complejos ofiolíticos, el límite superior de Moho Transición Zona, viene definida por estos niveles de gabros bandeados, los cuales reflejan la composición y estructuras de la corteza oceánica inferior. Estos niveles consisten generalmente en unidades cíclicas de gabros, los cuales muestran un bandeo composicional definido por variaciones en las proporciones modales de los componentes mayoritarios clinopiroxenos, plagioclasas y olivino. Los gabros bandeados en los complejos ofiolíticos representan la transición física del manto a la corteza y puede ser equivalentes a las denominadas Moho Petrológico y Moho Geofísico. Los niveles de gabros bandeados presentan características representativas de gabros de ofiolitas en zonas de suprasubducción. Radica un interés geológico de las ofiolitas, las cuales son de gran belleza y además son de valor científico y didáctico.</p>			

## CONTRIBUCIÓN AL PATRIMONIO GEÓLOGO – HISTÓRICO DE PAISAJE COSTERO DE LA PROVINCIA CIUDAD DE LA HABANA

**Nola Duquesne Barroso**<sup>(1)</sup> Teresa de J. Díaz Peña<sup>(2)</sup> y Víctor Estrada Sanabria<sup>(1)</sup>

**(1) Geocuba Estudios Marinos, (2) Museo de Regla.**

### RESUMEN

En el espacio físico – geográfico investigado concurren varios elementos significativos. En el terreno de la localidad de Casablanca, el conocimiento ha demostrado con relevantes valores geológicos y geodésico altimétricos, los magníficos niveles de terrazas marinas cuaternarias emergidas en el litoral noreste de la Bahía de La Habana, junto a las localidades tipo y cotipo de formaciones geológicas de la etapa post orogénica de Cuba Occidental ( Casablanca, Morro, Cojímar y algunos miembros de Vía Blanca) que afloran en dicha área, son elementos concurrentes de la herencia y origen del actual paisaje costero. En cambio, en el sector de Regla, se muestran las singulares alturas colinosas de rocas serpentinizadas de coloración verde – grisáceo. También vinculadas al entorno litoral, ya fuera del Municipio Regla, se destacan entre otros, restos de las Canteras de San Lázaro, las localidades tipo de la formación Vedado y afloramientos de Jaimanitas, las terrazas fluviales del río Almendares. Asociado al marco geoambiental del litoral habanero existen varios monumentos histórico - arqueológicos de la época colonial y contemporánea con significación nacional e internacional, cuyos puntos culminantes favorecen la contemplación visual del patrimonio geológico – cultural del paisaje circundante a la Bahía de La Habana. Se infieren criterios para la divulgación de los bienes geológico - arqueológicos y arquitectónicos, en la variante más viable y educativa ambiental, para el diseño de una hoja geoturística para Rutas y Andares, lo cual es posible mediante la colaboración entre los museos municipales, de Historia Natural y la Oficina del Historiador de la Ciudad.

### ABSTRACT

In the physical – geographic investigated area, they are some indicative elements such as Casablanca's terraces, typical sites of geological formations (Casablanca, Morro, Cojímar) and Regla show the serpentinitic hills.

The north seaboard too shows the Jaimanitas and Vedado Formations, San Lázaro's Quarry, the Almendare's outlet and important historical monuments.

These geographical and geological sites are associated whit important historical events.

### MATERIALES Y METODOS

Como métodos de investigación fueron aplicados los siguientes: reconocimiento geológico – geomorfológico, levantamiento de imágenes fotográficas, entrevistas dirigidas, consultas y compilación de materiales bibliográficos fundamentalmente del Municipio Regla así como del litoral norte desde la Bahía de La Habana hasta la desembocadura del río Almendres.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN



El perfil regional ejecutado en el municipio Regla, reveló el predominio hacia el norte de rocas sedimentarias y hacia el sur de rocas metamórficas (serpentiníticas) y permitió enlazar los datos históricos con los geológicos y geográficos.

Sobre las formaciones carbonatadas desarrolladas al norte del territorio encontramos los siguientes puntos de interés:

### **Las Terrazas de Casablanca:**

Alcanzan una altura aproximada de 50 m conformando la Loma de la Cabaña. Su litología constituida por calizas y margas de color crema corresponden a la formación Cojímar, cuya localidad cotipo se ubica adyacente al Hospital Naval con coordenadas (x 363,450; y 369, 700).

Sobre estas terrazas se localizan los elementos siguientes:

### **Instituto de Meteorología**

Es en el año 1862 cuando comienzan las actividades oficiales del Observatorio y en 1863 Andrés Poey comienza a dar clases de esta especialidad en la Universidad de La Habana. Desde 1857 se había creado un observatorio en el antiguo Colegio Belén, en el corazón de La Habana Vieja.



Existieron otras estaciones meteorológicas, como la fundada en 1889, conocida por "Observatorio de la Comandancia de la Marina", dirigida por el cubano Luis García Carbonell. Este centro estaba situado en la antigua Lonja del Comercio y dejó de existir en 1899, con la retirada de las tropas españolas tras la Ocupación Militar Norteamericana.

Entonces se estableció el WEATHER BUREAU de EE.UU., una "Oficina Central de Meteorología", con dos estaciones, una en Cienfuegos y otra en Camagüey. En 1905 la WEATHER BUREAU se retiró del país, dejando adscrita la meteorología a la Secretaría de Agricultura, Comercio y Trabajo del País. Por estas fechas el servicio meteorológico se encontraba en el edificio de Hacienda, en la calle Obispo y es en el año 1908 -en mayo- que se muda para Casa Blanca.

Al comenzar sus funciones en el pueblo ultramarino, aparece por primera vez en los boletines "OBSERVATORIO NACIONAL", pero este nombre se oficializa por el decreto No. 78 con fecha 12 de enero de 1909 de la Ley Orgánica del Poder Ejecutivo, aprobada por el gobernador provisional norteamericano Charles Magoon. Aunque hubo ocasiones en que cambió el nombre, finalmente este prevaleció y aún muchos mayores le llaman así. En el museo de historia reglano, está la tarja que precisa la inauguración del edificio del Observatorio Nacional el 12 de mayo de 1921, durante el gobierno de Mario G. Menocal.

Luego del ciclón de Santa Cruz del Sur, en 1932, y los daños causados por este, el gobierno prestó un poco más de atención al Observatorio.

Al entrar Cuba en la Segunda Guerra Mundial en 1942, el Observatorio Nacional pasó al mando militar. En 1947 el se convierte en Unidad Naval por la orden 100 del Estado Mayor de la Marina de Guerra y se convoca a cursos para incrementar su personal. En 1950 llegó a tener casi 200 hombres trabajando.

El cambio social y político, en 1959, marcó luz de progreso en esta ciencia. Se encontró muy poco personal especializado en meteorología y los métodos utilizados en el máximo centro eran anticuados. Surgió entonces una Oficina de Análisis y Pronóstico, con metodología moderna, ya utilizada universalmente y se promovieron algunos marinos, que “flotaban” en el nivel de observadores meteorológicos, a auxiliares de meteorología. Fue este el primer paso hacia el verdadero progreso.

En agosto de 1965 por disposición de las Fuerzas Armadas Revolucionarias, el antiguo Observatorio Nacional dejó de pertenecer a la Marina de Guerra y pasa a la Academia de Ciencias de Cuba. Se separan entonces las dos secciones con que contaba el lugar: meteorología y astronomía. La astronomía pasa a la zona de “El Laguito” en Marianao, la meteorología se queda en Casa Blanca y en octubre del año en cuestión pasa oficialmente a “Instituto de Meteorología de la Academia de Ciencias de Cuba”.

#### - Finca Tiscornia

En esta edificación, hasta la primera mitad del siglo XX, funcionó un área de cuarentena para todos los inmigrantes que arribaban a la isla. Actualmente en sus instalaciones se encuentra la Asociación de Investigación y Producción del Transporte – Grupo IT más conocida como Instituto de Investigaciones del Transporte, donde se realizan importantes investigaciones en las ramas marítima, ferroviaria y vial para su ampliación y desarrollo. Esta Asociación mediante el CIMAB (Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas) desarrolla importantes planes para el saneamiento de la Bahía de La Habana.

#### - Cristo de La Habana

Su autora: Gilma Madera, de nacionalidad cubana, recientemente fallecida. Se construyó el inmenso inerte en Italia, con mármol de Carrara, se esculpió en Roma y fue bendecido por el Papa. Se inauguró el 24 de diciembre de 1958. Mandado a hacer por el mismísimo Fulgencio Batista, se dice “que fue una promesa religiosa que hizo el dictador a su cónyuge Martha, ironías del destino. Fue montado por piezas traídas a intervalos desde Italia.



A la develación asistieron además del “general”, su esposa y otras “personalidades” del momento.”

#### - Localidad tipo de la Formación Casablanca

Se localiza en la base de la unidad de Correos de Cuba del poblado de Casablanca, casi al pie de la elevación en las coordenadas (x 362,5; y 368, 650). Esta formación es de desarrollo local compuesta por rocas calizas de color crema, con abundante material arcilloso – gravoso - carbonatizado relleno los poros y grietas. Sobre esta, en el antiguo Juzgado de Casablanca, en el área ocupada actualmente por el parque infantil, se fundó en 1960 la familia Guevara - March mediante el matrimonio del Guerrillero Heroico Ernesto Che Guevara y Aleida March. Una tarja situada en lugar recuerda este significativo hecho histórico.



Sobre estas formaciones carbonatadas también resultan de gran interés histórico – geográfico los siguientes datos:

### **-Tren del Central Camilo Cienfuegos (Hersey)**

El tren eléctrico, en el llamado itinerario número 9 entre Casa Blanca y Matanzas, se inauguró el 15 de octubre de 1922, para el transporte de pasajeros, carga y correos. Contaba con 21 equipos de tracción propia y 5 coches de arrastre. Luego surgieron los nuevos itinerarios, el 10, 11, 12 y 13, con fechas 2 de diciembre de 1922, 10 de julio de 1923, 1° de junio de 1930 y 15 de mayo de 1936 respectivamente.

En el año 1926, luego del ciclón, este servicio funcionó buen tiempo con trenes de vapor dadas las afectaciones que sufrieron los sistemas eléctricos y de comunicaciones a consecuencias del violento fenómeno atmosférico.

El ruidoso tren eléctrico hacía viajar por muchas bocas el nombre de Casablanca y obligaba a muchos a conocerla. También por esta vía se trasladaba un considerable tonelaje de mercancías por la región Occidental, sirviendo a veces como puente con la región Oriental.

Esta línea férrea atraviesa parte de la Formación Cojímar así como parte de la Formación Vía Blanca.

Hacia el Sur del territorio estudiado se destacan las siguientes particularidades:

### **Macizos ultrabásicos serpentinizados**

Posee una amplia distribución en la zona sur del municipio. Son identificados sobre éste los elementos siguientes:

#### **- Colina Lenin**

A la muerte de Lenin en 1924, el Alcalde Antonio Bosch dictó una Resolución en la que lo declaraba "Gran Ciudadano del Mundo" y convocaba a un acto en su homenaje en la entonces llamada "Loma del Fortín", atendiendo a las muestras de simpatía de los



trabajadores de Regla por la Revolución de Octubre y su dirigente Vladímir Ilich Lenin.

El acto tuvo lugar finalmente el 27 de abril, procurándose que coincidiera con el que se iba a celebrar en la Plaza Roja de Moscú. Consistió en una movilización popular para sembrar un olivo en la mencionada loma y luego el propio Bosch hizo un discurso en el que señaló:

"... Martí y Lenin: dos cumbres del pensamiento, por eso simbolizo con sus nombres las dos cimas geográficas de mi pueblo. Significar con este hecho la caída de un grande del pensamiento y formidable en la acción cual fue Lenin, no es convertirse en sectario. Hago esto así a manera de llamamiento a la mentalidad del hombre para el estudio de los problemas humanos; es la sugestión a mi pueblo queriendo prepararlo y ponerlo de frente al futuro..."

#### **- Colina Martí**

Conocida como Loma del Recreo, allí levantaron su campamento las tropas del Ejército Libertador al tomar oficialmente el pueblo de Regla el 30 de diciembre de 1898.

El 20 de mayo de 1902 se realizó un sencillo obelisco dedicado a José Martí que consistió en un palo de goleta en el que se izó la bandera cubana ese día. El nombre de Loma del Recreo lo mantuvo hasta que por Decreto del Alcalde Antonio Bosch se le cambia el nombre.

Desde 1961 existe un pequeño parque con el busto de Martí, el asta de la bandera y un mural en bajo relieve cuyo autor es Orlando Suárez; el tema de dicho mural es "El hombre en sus diferentes facetas durante la construcción del socialismo".

### - Liceo Artístico de Regla

Esta institución fue fundada el 10 de octubre de 1878, fecha significativa por conmemorarse el comienzo de la Guerra de los Diez Años.

El 8 de febrero de 1879 se produjo la inauguración a la que asistieron figuras destacadas de la sociedad habanera y en la que descolló la presencia de José Martí, quien pocos meses atrás había regresado del exilio. Martí desde el 29 de enero de 1879 era socio de la Sección de Instrucción del Liceo, hizo uno de los discursos de la noche inaugural, el cual resultó ser el de mayor trascendencia como pieza oratoria y por las ideas respecto al porvenir de la patria.



A partir de su fundación esta institución ha tenido un papel protagónico en los momentos más relevantes de la historia política y cultural del territorio.

El Liceo tiene en su salón principal un mural titulado "Martí de la Libertad, Justicia y Amor" que se inauguró el 28 de enero de 1955, cuando era creciente la actividad conspirativa del Movimiento 26 de julio dentro de esta sociedad y la revalorización del ideario martiano se asociaba a la lucha contra la dictadura de Fulgencio Batista. El autor de la obra, el muralista Orlando Suárez (1926-1986) tuvo relaciones cercanas con los maestros de esta manifestación en México, en particular con Siqueiros, junto al que trabajó por invitación personal en el equipo de realización del Poli forum Cultural Siqueiros.

Gerardo Granda Mijares, primer mártir de la Revolución en nuestro territorio, muerto el 2 de noviembre de 1957, junto a Julio Adán García Rodríguez, participante en el Asalto al Cuartel Goicuría en Matanzas, representan la innegable pujanza del movimiento revolucionario en Regla que además realizó acciones tan importantes como la fabricación clandestina de los cascos para las granadas que se enviaban para la Sierra Maestra en la conocida Fundición de Regla, lugar que tuvo el privilegio histórico de haber recibido la visita de Frank y Josué País.

El Liceo de Regla, fiel a su tradición resultó ser un importante centro de conspiración donde se reunían jóvenes con inquietudes revolucionarias y algunos ya integrantes del Movimiento 26 de julio, como es el caso de Alberto Álvarez Díaz, miembro de la Junta Directiva de esta sociedad y entrenador del equipo liceísta de básquet "La Rosa Blanca".

Alberto, junto a un grupo de revolucionarios, organiza la acción más importante llevada a cabo en nuestro pueblo: el famoso secuestro de la Virgen de Regla, el 5 de septiembre de 1958, acción que tenía como objetivo principal demostrar que el momento no era de celebraciones (las Fiestas Patronales se celebraban por esos días), sino de lucha contra la dictadura batistiana que estaba empeñada en dar una imagen de paz y tranquilidad para tratar de opacar la lucha insurreccional. Esta acción generó un refuerzo de la acción represiva policíaca y por una delación de un miembro del M-26-7 reglano, fueron descubiertos y masacrados en el acto los jóvenes Alberto Álvarez Díaz, Leonardo Valdés Suárez, Reinaldo Cruz Romeu y Onelio Dampiel Rodríguez, conocidos como los Mártires de Regla o del 12 de septiembre; junto a ellos fueron apresadas y luego desaparecidas las guerrilleras Lidia Doce y Clodomira Acosta.

Otros ejemplos de jóvenes que regaron con su sangre generosa la tierra patria fueron: Eduardo Palmero Hernández y Bernardino García Santos (Motica), ambos de Casablanca, este último, bajo el mando de Sergio González (El Curita), participó en acciones tan notables como la conocida "noche de las 100 bombas".



Las interrupciones del servicio eléctrico, la quema de unidades de transporte, la venta de bonos, la recaudación de dinero entre los trabajadores del puerto y de otras industrias del territorio, así como muchas otras acciones del M-26-7 y sus simpatizantes dieron lugar a que nuestro pueblo fuera conocido como "La Sierra Chiquita", bautizada así por nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz. El movimiento revolucionario reglano de 1952-1958 no fue nada más que parte del epílogo de una etapa de lucha que en Regla había comenzado en 1852 con Eduardo Facciolo y Alba y que en el Liceo Artístico de Regla tuvo a uno de sus principales cuarteles.

#### - **Parque Julio Antonio Mella (de la Mandarria)**

Inicialmente este parque se llamó "Antonio Irazós", en homenaje a la labor de ese intelectual como Secretario de Instrucción Pública en aquella época. Para solemnizar la inauguración y el nombramiento, el 1º de mayo de 1927, fue colocado el "Monumento al Trabajo" (figura escultórica de bronce, representando un hombre con una mandarria, y fundida en Lisboa), monumento por el que popularmente se le llama Parque



de la Mandarria. Tal obra y tal acto los promovió el Alcalde reglano Antonio Bosch.

Un grupo de jóvenes revolucionarios, después de la caída del dictador Gerardo Machado, colocó una placa en el lugar con la siguiente frase de Mella: "Triunfar... o morir y servir de trinchera a los demás... hasta después de muertos somos útiles". Ya en la revolución fue que el parque tomó el nombre del líder cubano, como recuerdo de su participación allí en un acto del proletariado reglano.

Cuando el ataque a Playa Girón en esta zona se concentraron y desde allí partieron, los milicianos reglanos del BON 115 y del 123.

Esta comprendido entre las calles Ortiz, Perdomo, Benito Anido y Albuquerque.

#### - **Palacio Municipal**

Construido entre 1921 y 1923 en los terreros que había ocupado el "Mercado Creci", fue inaugurado el 22 de agosto de 1923 durante la alcaldía de su promotor el Dr. Antonio Bosch Martínez. El objetivo de su construcción era dotar a Regla de una casa para el Gobierno Municipal y facilitar algunos servicios públicos (Casa de Socorros y VIVAC). Este edificio ha



sido lugar de numerosos actos políticos y cívicos que le confieren especial valor histórico, por lo que fue declarado en 1987 **Monumento Nacional**. Desde 1987 y luego de su restauración general, mantiene como única función civil la de ser sede del Comité Ejecutivo y de la Asamblea Municipal del Poder Popular. Está situado frente al Parque Guaicanamar entre las calles Aranguren y Céspedes.

#### **Casa de Eduardo Facciolo Alba**

Eduardo Faccioso Alba nació en la Calle San Agustín #21, (hoy Calle Facciolo) esquina a Calle Santa Ana, (hoy Calle Maceo).

"... Inteligencia vivaz y formalidad excelente distinguieron su niñez... Pero no pasaría más allá de su



educación académica. Hijo de modesto hogar, sus posibilidades en tal sentido estaban vedadas y así quedole como futuro, el empleo humilde proletario para vivir... comenzó el aprendizaje del oficio de cajista en la "Imprenta Literaria"... Tal suceso de experiencia laboral precoz sería revelador por cuanto resultó ser consecuencia de una actitud que fue constante en su existencia: inconformidad con su entorno social..."

Desde 1844 labora en la imprenta que tirara "El Faro Industrial de La Habana", periódico conocido como expositor destacado de intereses y criterios raigalmente cubanos, conociendo en ella a distintas personalidades políticas y literarias del momento.

En 1851 queda sin empleo por ser mandada a cerrar la imprenta y detenido su dueño. Junto a su padre abre una cigarrería a donde acude en su búsqueda Juan Sandalio Bellido de Luna para iniciar las compras para fundar un periódico revolucionario.

"LA VOZ DEL PUEBLO CUBANO" apareció por vez primera el 13 de junio de 1852, tres semanas más tarde (el 4 de julio de 1852) sale el segundo número a pesar del gran despliegue represivo que originó el primero.

El tercer número sale el 26 de julio de 1852. Cuando Facciolo llega a componer el cuarto número es descubierto y detenido el 23 de agosto de 1852.

"... Por fin en la mañana del día 13 de septiembre de 1852 se dictó sentencia condenándosele por solo un voto de mayoría a la pena de muerte ejecutada en garrote vil..."

"... El día 27, lunes, a las siete menos cinco de la mañana del mismo mes, fue notificado Facciolo de su suerte... El reo escuchó la lectura del documento sin proferir palabra, ni inmutarse..." "... Al día siguiente, 28, extraído de capilla se le condujo hacia el patíbulo. Marchó con paso sereno, sin amilanarse, hasta que fue colocado en la máquina de garrote situada frente a la Real Cárcel y ejecutado en ella... estuvo expuesto el glorioso cadáver hasta las tres de la tarde... fue sepultado aquel joven agraciado, de veintitrés años de edad, de regular estatura, color blanco rosado, pelo negro rizado, bigote negro, ojos verdes, cejas y pestañas negras y abundantes, boca pequeña y semblante risueño" en el nicho número 437 del desaparecido cementerio de Espada..."

### **La Bahía de La Habana**

Por su importancia no sólo local, sino nacional, le adjudicamos especial atención. Es uno de los principales accidentes geológico - geográficos del país. Situada a los 23°09' N; 82°21' W penetra profundamente en la costa norte de la Isla de Cuba.

Es una bahía de bolsa cuyo estrecho canal de entrada está muy resguardado por las elevaciones de su costa norte.

Rodeada de fortalezas coloniales: San Salvador de la Punta, Los Tres Reyes del Morro y San Carlos de la Cabaña, esta última al decir del Rey Carlos III cuando se asomaba a las ventanas de su palacio: "es una fortaleza tan costosa que debía verse desde la capital de España".

Sus costas ocupadas casi en su totalidad por el Puerto de La Habana, fueron en épocas coloniales refugio obligado de las naves que surcaban los mares adyacentes durante las tormentas. Su característico faro, ubicado en el Castillo del Morro resulta insustituible guía para la navegación. Aún hoy es la principal entrada marítima al país. Entre los principales aspectos a ella vinculada tenemos:

#### **- Entrada de las migraciones esclavas (africanas, chinas, filipinas, yucatecas)**

Fue por la Bahía de La Habana por donde el horror de la esclavitud se entronizó en la isla.





Barcos cuya mercancía eran hombres sacados a la fuerza de su tierra para ser vendidos y sometidos a los mas brutales trabajos mediante inhumanos castigos llegaban al Nuevo Mundo por esta bahía, una de las principales plazas de venta de esclavos.

Pero no sólo llegaron los negros como esclavos, también llegaron negros y mulatos originarios de Sevilla y luego peculiares de la ciudad de La Habana “que se distinguieron por su lenguaje, sus vestidos y sus adornos camisa, pantalón, calzado, sombrero, pañuelo, aretes, anillos), por sus andares y por su mala vida, de crimen y valentonería siempre armados de cuchillo en mano: retadores, referteros y fáciles a las cuchilladas”.

Estos fueron los llamados **negros curros del Manglar** llamados así porque se asentaron fundamentalmente en El Manglar, un barrio de extramuros de La Habana, en el litoral de la bahía, así llamado por la abundancia de mangles que en su territorio se encontraba, lo cual basta para demostrar lo poco poblado que debía estar. “Junto al **negro curro** estuvo siempre la **negra curra** con características semejantes” aunque para las valentías, baladras, cuchilladas y crímenes del **negro curro** no era menester la cooperación de la **negra curra**. Este negro fue un tipo propio de la ciudad de La Habana y de Regla y otros arrabales o pueblos suburbanos. Se dice que también los hubo en Matanzas y en Cárdenas.

“1847. Un nuevo tipo de esclavitud, que aunque no de forma legal se extendió rápidamente y fue peor que la de los negros, la de los “colonos chinos”.

Fue nuestro pueblo (Regla) el primero que los recibió, efectuándose con ellos un cambio de fuerza de trabajo, por ser empleados en muchísimos almacenes, cambiándose al negro esclavo por el más barato, el colono chino. Se instalaron en barracones muy cerca de la Iglesia lo que provocó que el Párroco promoviera un pleito por la cercanía de los herejes. Los chinos fueron empleados en los trabajos más fuertes, incluyendo la carga y descarga de buques y a diferencia de los demás jornaleros que llegaban a ganar un peso diario, los chinos recibían cuatro pesos mensuales y una peseta semanal de gratificación.” En la Calle adyacente a la Iglesia de Regla hay una tarja que recuerda la entrada de los chinos a Cuba.

#### - Otras localidades tipo y formaciones de interés relacionadas con el municipio de Regla.

##### **Formación Morro**

Su desarrollo al igual que el de la Formación Casablanca es extremadamente local circunscrito al margen norte de la bahía de La Habana, entre la fortaleza de La Cabaña y la salida hacia Matanzas del Túnel de La Habana. La localidad tipo de esta formación está localizada en el extremo occidental de la excavación costera situada entre el Morro y La Cabaña, mas



exactamente en la base del antiguo Tribunal Supremo en las coordenadas x 361,310; y 369,350 de la hoja La Habana. La ubicación sobre ella de la fortaleza del Morro y parte de La Cabaña hablan por si solas de esta unidad histórico – geólogo – geográfica.

##### **Formación Vía Blanca**

Esta formación se manifiesta en el resto del área del municipio, con dos de sus elementos litológicos: los conglomerados Vía Túnel y Bahía.

El **Conglomerado Vía Túnel** se ubica hacia el norte. Su localidad tipo aflora a unos 2.5 Km. del poblado de Casablanca en las coordenadas x 365,35; y 369.34 de la hoja de La Habana. El **Conglomerado Bahía** se ubica hacia el sur del municipio. Su localidad tipo aflora en el área de coordenadas x 365,50; y 367,00. De forma general ambos contienen clastos de calizas,

areniscas y aleurolitas grauvacas. En el caso del Conglomerado Bahía se observan también peridotitas, gabro serpentinizado, lavas, etc.

- **Desde la Bahía de La Habana hasta la desembocadura del río Almendres**

En este tramo litoral, se desarrollan las formaciones Jaimanitas y Vedado.

**Formación Jaimanitas**

Formada por calizas arrecifales, tanto detrítico - organógenas como biohérmicas, masivas, porosas, de color crema – amarillento, con abundantes colonias de corales, la localidad tipo de la Formación Jaimanitas no está en el área que abarca este trabajo, esta se encuentra junto al cruce de la Calle 230 y la Quinta Avenida – I a casi 920m de la punta en el litoral Jaimanitas. Su importancia radica en que esta Formación es la más joven de las formaciones calcáreas marinas de la costa norte de La Habana, se desarrolla en todo el litoral septentrional representando una importante transgresión marina del Pleistoceno.

Sobre esta Formación, en la Boca de la Chorrera, desemboca el río Almendares la más importante arteria fluvial de Ciudad de La Habana, parcialmente navegable para embarcaciones menores.

En la margen derecha de la desembocadura, (costa sur de la ensenada) se encuentra el fuerte colonial denominado Torreón o Castillo de la Chorrera.

Otro sitio de interés sobre esta Formación situado en la intersección de la Avenida de los Presidentes y Malecón es el Monumento al General Calixto García patriota de nuestras guerras de independencia.

**Formación Vedado**

Su litología consiste en conglomerados de calizas formados por grandes fragmentos de corales, calizas organógenas, etc., representando el ambiente del pie de talud de una costa abrasiva cuya importancia también reside en que "corresponde con la primera transgresión pleistocénica". Su localidad tipo se encuentra en la base del emblemático Hotel Nacional, visitado por numerosas personalidades importantes tanto políticas como culturales, hoy de gran importancia para el turismo del país.

Sobre la Formación Vedado (a veces en la zona) aunque no sea en la localidad tipo se encuentran además en el área costera otros importantes monumentos o sitios históricos que no deben omitirse tales como los restos de la cárcel de San Lázaro sobre las canteras del mismo nombre donde sufrió prisión nuestro Héroe Nacional José Martí con apenas 16 años, el monumento a los 8 Estudiantes de Medicina vilmente asesinados por el gobierno español el 27 de noviembre de 1877, los monumentos a los Generales Antonio Maceo y Máximo Gómez en los parques Maceo y del Túnel de La Habana respectivamente.

**CONCLUSIONES**

La presencia en el paisaje costero de las macroestructuras, Formaciones y localidades tipos citadas, son por sí solas destacables. El conjunto de hechos históricos asociados a ellas, refuerzan la propuesta de considerarlas Sitios Geológicos Patrimoniales a los efectos del análisis en la Comisión de Historia de la Ciudad de La Habana y promover por tanto entre las generaciones de cubanos el conocimiento y amor hacia su historia y suelo patrios. Dada esta importante coincidencia y que en este trabajo inicial quedan sitios sin mencionar, es propósito de los autores profundizar en la relación que existe entre geología e historia en el litoral habanero tomando en cuenta el concepto de que "sitio geográfico es aquel en el que se

desarrollan los eventos sociales de una región o país" soportados, naturalmente, por el basamento geológico.

## BIBLIOGRAFIA

- Bosch A. 1961 **Publicidad "ABOCHE"**.  
Bosch A. Regla 1946. **Tópicos y proyecciones de Regla**, y Colectivo Técnico Museo de Regla. **Apuntes de Regla (inédito)**,  
Colectivo de Autores. Instituto de Geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba 1985. **Contribución a la Geología de las Provincias de la Habana y Ciudad de La Habana**.  
Cosme, P. Edit. Oriente, 1998. **Los chinos en Regla**, ,  
Duquesne, N, Díaz, T, Estrada V. La Interrelación Geográfico - Histórica en el Patrimonio Cultural del Municipio Regla, La Habana  
Gómez E. **Documentos inéditos** que integran los fondos del Departamento de Documentación e Información del Museo de Regla.  
Gómez, E. Folleto. Editado en Regla. 1979 **"El Liceo de Regla en la Colonia"**.  
Instituto Cubano de Hidrografía. 1989. **Derrotero de las Costas de Cuba**. Región Marítima del Norte. Tomo I.  
Iturralde Vinent, M.1998. **Programa GEOSITE. Herencia de la Tierra**. Tomo 1 IV Congreso de Geología y Minería..  
Machado, B. 1988 **"Casablanca: Halle su oscura luz"**,. y Olavarrieta Benítez, José, Folleto **Consideraciones en Torno A Eduardo Facciolo y Alba**  
Morales de la O, C, González B. Ciudad de la Habana. 1996. **"Participación de los reglanos en las Guerras de 1879 y 1895"**.  
Ortiz, F. Edit. Ciencias Sociales, La Habana, 1986. **Los Negros Curros**.  
Sección de Historia del PCC de Ciudad de la Habana Editorial Ciencias Sociales. La Habana1989. **"Semillas de fuego"**.Tomos I y II.



## PROPUESTA DE INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE SITIOS MINEROS CON FINES PATRIMONIALES, EN EL MARCO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE.

Yosbanis Cervantes<sup>(1)</sup>, Roberto Watson<sup>(2)</sup>

- 1) Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", ISMM, Moa, Holguín, Cuba .  
ZIP 83329, E-mail: [ycervantes@ismm.edu.cu](mailto:ycervantes@ismm.edu.cu)
- 2) Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", ISMM, Moa, Holguín, Cuba .  
ZIP 83329, E-mail: [rwatson@ismm.edu.cu](mailto:rwatson@ismm.edu.cu)

### RESUMEN

La situación presente hoy en las esferas geológica y minera es compleja y con pronunciados problemas a nivel nacional e internacional desde el punto de vista ambiental. Esta situación que se está experimentando, motiva hoy más que nunca la necesidad del reconocimiento, valoración y respeto a la actividad minera para poder seguir abasteciendo a la sociedad de materias primas sin las cuales hoy no se podría disfrutar del bienestar social en el cual estamos inmersos.

A nivel global este reconocimiento y valoración se está intentando que venga amparado por el *desarrollo sostenible*. En este artículo intentamos aproximarnos hacia el papel que puede tener la puesta en valor del patrimonio minero – metalúrgico y su importancia para alcanzar tal imperativo.

El siguiente trabajo, surge como una necesidad de la empresa Cromo-Moa, la cual con el fin de disminuir el impacto ambiental y social, propone al Departamento de Minería, la valoración y evaluación con fines patrimoniales de las minas Cayo Guam, Cromita y la actual casa de visita.

Debido al desconocimiento de una metodología adecuada para la evaluación de estas minas e instalaciones mineras, se crea un sistema de evaluación que con un alto grado de información que pueda o no proponer un sitio de interés minero. Este visto desde la minería como una actividad industrial vinculada al desarrollo de la humanidad, trata de acabar todos los parámetros de la misma con el fin de validar o no la calidad patrimonial de los sitios de interés minero.

### ABSTRACT

The following research paper arises like a necessity of Cromo-Moa Company to develop an strategy in order to diminish the environmental and social impacts on Cayo Guam Mines. The author also proposes an evaluation to the mining department regarding heritage ends as well as the current Casa de Visita.

The first part consists of the theoretical foundations of the investigation, with a profound analysis of desing, object and objectives of the investigation, hypothesis, specific objectives and the methodology used.

In the introductory part the author exposes in a synthesized way the objectives and results that are expected by means of the research paper. So as to fulfill what has been previously stated there is an dynamic analysis of other countries achievements and experiences. The author, emphasis is made in those aspects related to the mining heritage: concepts, importance of the sustainable development, valuation and characteristics with the objective of demonstrating the meaning of mining heritage for the cultural and social development of the country.

This was made on a detailed and comprehensive way which is based in the most significant characteristics of each objects. Reefing in mind the importance of the mining heritage for the socio-cultural development of ours country.

Key words : develop sustainable, mining heritage.

### INTRODUCCIÓN.



Para una eficaz consideración del patrimonio minero – geológico, en el ámbito nacional y mundial, es absolutamente necesaria una aproximación sistemática que permita la selección objetiva de los lugares o sitios mineros claves. Esto es algo complicado cuando se trata de encontrar una solución a escala internacional o nacional. No se puede decir que un lugar constituye un objeto patrimonial, sin una evaluación previa en un contexto identificado.

Existen movimientos a escala internacional con un alto nivel de preocupación que trata de conseguir preservar para las generaciones futuras todos aquellos útiles (máquinas, herramientas, enseres, etc.) y materiales relacionados con las industrias mineras y metalúrgicas, que tras su cierre han dejado fuera de uso una serie de testimonios directos, que forman parte de nuestra historia y que la utilización de nuevas tecnologías y de nuevos materiales han dejado en desuso y, en muchos casos, olvidadas.

El proyecto Geosites puesto en marcha por la UIGS en 1996, aglutina la comunidad minero-geológica en interés de la conservación y cuyo objetivo es proporcionar una base que sirva de patrimonio minero-geológico mediante la elaboración de un inventario y base de datos de lugares de interés minero- geológico global.

Este proyecto utiliza vario criterios para la selección de lugares de interés, estos son:

- Representatividad
- Criterios de singular o único
- Idoneidad para la correlación
- Disponibilidad y potencialidades
- Reinterpretaciones
- Objetivos educacionales culturales
- Complejidad

En el Instituto Minero Metalúrgico de Moa, se realizó un trabajo donde se propone una metodología para la evaluación de sitios de interés geológico-minero, pero se hace mayor énfasis en la parte Geológica, es decir el patrimonio natural.

Consideramos, que mediante los siguientes indicadores propuestos, sean mucho más palpables las características patrimoniales de los sitios de interés minero – metalúrgico, lo cual nos serviría de base para la evaluación y valoración de los mismos.

#### Pasos a seguir en el proceso operativo de inventarios:

Debido a la poca experiencia sobre los inventarios de sitios de interés mineros en nuestro país, hemos propuesto los siguientes pasos:

- Seleccionar y identificar los contextos mineros y realizar consultas.
- Ejecutar comparaciones con otros países de mayor experiencia en el tema.
- Obtener un balance entre diferentes opciones ( a nivel internacional).



- Documentar los lugares seleccionados y registrarlos

## INDICADORES A TOMAR EN CONSIDERACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES MINERAS CON FINES PATRIMONIALES.

Singularidad: Hay excavaciones y instalaciones mineras que debido al método de explotación o estilo arquitectónico utilizado en la misma, puede ser exclusivo a nivel regional y nacional, lo cual por su singularidad deben ser protegidos.

Estado de conservación: Atendiendo a los criterios de estabilidad puede determinarse el estado de conservación de las excavaciones, en caso de otras obras se utilizan criterios arquitectónicos.

Representatividad dentro del sector minero: Este indicador expresa la importancia del objeto dentro del desarrollo de la industria extractiva minera en el país o el mundo.

Cualidad didáctica: Propiedad del objeto para su presentación con fines educativos.

Interés científico: Objetos reservados para estudios posteriores.

Valor histórico – cultural: Sitios mineros donde se hallan desarrollado o sean testigos de fenómenos de índole social y cultural.

Situación geográfica (accesibilidad): Para posibilitar las visitas, mientras más accesibles y próximos a regiones pobladas más valor.

Visibilidad: Un objeto puede ser destacable, pero podría ser observable o no en toda sus dimensiones. Tal es el caso de las minas subterráneas y algunas otras instalaciones mineras.

Originalidad: Propiedad intrínseca de cada instalación minera, que posee ciertas características importantes, según su uso en el entorno o la nación.

Disposición Política : Disponibilidad por parte de los gobiernos y los sistemas legislativos.

## ESCALA DE VALORACIONES

Consideramos que para evaluar el potencial patrimonial en los sitios mineros de nuestro interés, se debe utilizar una puntuación que varíe de 0 a 1. La misma se divide en tres es decir ( 0; 0.5; 1 pto). Cuyo significado será alto, regular y bajo interés patrimonial.

Para estudio de estos indicadores, se somete a **criterio de expertos**, este grupo debe estar conformado por especialistas de minería procedentes de otras instituciones como, centros de investigación, autoridad minera, entre otros.

La sumatoria de las valoraciones individuales para cada objeto da un valor máximo de 10 pto y un valor mínimo de 0 punto. Esto ubica el objeto dentro de cierto nivel jerárquico.

## TABLA DE VALORES





Jerarquía	Puntuación	Valor
1 <sup>er</sup> nivel	0 a 5 puntos	Bajo
2 <sup>do</sup> nivel	5 a 7 puntos	Regular
3 <sup>er</sup> nivel	7 a 10 puntos	Alto

## CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN

A continuación daremos un criterio homólogo a la puntuación que se le dará a cada objeto según sus valores; es decir: la puntuación se dará en una escala de 0.5 puntos y en los límites de 0 a 1; [ 0, 0.5, 1]. El criterio también varía según el valor del objeto:

Singularidad: Único, poco utilizado, común.

Estado de conservación: Conservado, recuperable, irreparable.

Representatividad: Representativo, poco representativo, indiferente.

Cualidad didáctica: Alta, regular, baja.

Interés científico: Alto, regular, bajo

Valor histórico cultural: Alto, regular, bajo

Situación geográfica: Buena, regular, mala

Visibilidad: Visible, poco visible, invisible

Originalidad: Original, poco original, común

Disposición política: Mucha, poca, nada

Teniendo las herramientas necesarias para valorar y evaluar el sitio de interés, confeccionamos un modelo en forma de tabla donde se expresan los valores por indicador y se insertan en cierto nivel jerárquico, esto nos demuestra o no, si existe características patrimoniales el objeto de estudio.

## MODELO DE EVALUACIÓN

Nombre		
Valoración		
Singularidad		
Estado de conservación		
Representatividad dentro del sector minero		
Cualidad didáctica		



Interés científico		
Valor histórico cultural		
Situación geográfica		
Visibilidad		
Originalidad		
Disposición política		
Puntos		
Nivel		

## CONCLUSIONES

1. Los indicadores propuestos constituyen la base fundamental para la evaluación de sitios de interés minero con fines patrimoniales.
2. El patrimonio minero-metalúrgico, debe verse como parte del patrimonio industrial. Este debe ser evaluado atendiendo a su complejidad en el proceso productivo.
3. El estado de conservación del sitio de interés a evaluar juega un papel primordial para la valoración, ya que de él se desprenden otros indicadores.

## BIBLIOGRAFÍA

- CERVANTES, Y. El conocimiento minero geológico como indicador de partida en la elaboración de indicadores de sustentabilidad en la minería. Primer encuentro de enseñanza de las Ciencias de la Tierra para América Latina y el Caribe. Universidad de Pinar del Río. Cuba. 2003
- COBAS Y.; ALIAGA, R. E. Metodología y evaluación del patrimonio geológico minero de las provincias de Holguín y Guantánamo. Trabajo de diploma. ISMM. Moa, 2002.
- COBAS Y.; ALIAGA, R. E. Conceptos claves de patrimonio. Informe. Moa 2002.
- DURÁN, Y. Estudio de las minas subterráneas del yacimiento de cromo Moa-Baracoa para evaluar su posible utilización con otros fines para la economía. Trabajo de diploma. ISMM. Moa, 1984.
- GUARDADO, R.; BLANCO, R.; RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, R.M. Evaluación y conservación del patrimonio minero geológico de Cuba. Coloquio Iberoamericano Patrimonio Geológico Minero. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia, 2001.
- RODRÍGUEZ, R. Economía y recursos naturales. Apuntes para un libro de texto. Bellatería. Barcelona, 2002.



## PROTECCION Y CONSERVACION DEL PATRIMONIO GEOLOGICO DE CUBA

**M. Roberto Gutiérrez Domech, Arsenio Barrientos Duarte, Gustavo Furrázola Bermúdez.**

***Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca 1002 y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, CP 11000, La Habana, e mail [rgdomech@igp.minbas.cu](mailto:rgdomech@igp.minbas.cu)***

### RESUMEN

La complejidad del territorio cubano que constituye un verdadero mosaico desde el punto de vista geológico convierte a este archipiélago en un lugar de importancia para el estudio de las características y evolución geológica de la región Caribe Antillana y del Golfo de México.

El trabajo de investigación y prospección realizado durante la primera mitad del siglo XX y los esfuerzos que se han llevado a cabo por los organismos estatales después del triunfo de la Revolución, permitió el descubrimiento y descripción de numerosos geosítios que constituyen, por su riqueza, patrimonio de la nación. En el desarrollo de las tareas del proyecto *Léxico Estratigráfico de Cuba* y de uno posterior que levantó localidades de 6166 restos fósiles se evidenció que las muestras correspondientes a los diversos tipos litológicos que caracterizan las formaciones geológicas recogidas en ese documento están incompletas. No existe en el país ninguna institución donde se atesoren todos los tipos litológicos de las unidades litoestratigráficas cubanas, por lo cual se reducen las posibilidades de hacer estudios integradores y análisis exhaustivos de las características de cada formación geológica. Por otra parte no se conoce el estado físico de los estratotipos y localidades tipos donde fue descrita originalmente cada una de estas unidades, al igual que de yacimientos fosilíferos de gran importancia, donde fueron reportados holotipos y paratipos de especies fundamentales para la Estratigrafía y la Paleontología cubanas, que constituyen además de patrimonio científico y cultural de Cuba, la herencia geológica de la nación. Algunas localidades visitadas presentan gran afectación, por diversas causas, otras han desaparecido.

Es necesario elaborar un inventario de la situación de cada localidad, tomar fotos de las características más representativas, proponer o ejecutar medidas de conservación, físicas y jurídicas, entre ellas su inclusión en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y comprometer a las autoridades locales en la señalización de los sitios y la protección de los lugares y de los carteles que se coloquen, como establece la experiencia internacional, para preservar la herencia geológica.

Palabras claves: geosítios, herencia geológica, áreas protegidas

### ABSTRACT

The Cuban territory complexity that constitute really a mosaic from a geologic point of view turn this archipelago into a very important place to the study of the Caribbean . Antilles, Golf of Mexico characteristics and geologic evolution.

The investigation and prospecting work done during the first half of the XX century and the efforts carryout by the government organisms after the Revolution triumph, permit the discovery and description of a large number of geosites that constitutes, for it richness, a nation patrimony.

Upon the development of the Stratigraphic Lexicon of Cuba project tasks and also by a subsequent one that found localities of 6166 fossil remains, was obvius that samples corresponding to the several litological types of the geologi formations includes in that document are incomplete. There's no institution in the country where all litologic types of the cuban litoestratigraphic units.

That's why the possibilites of doing new integrative research and exhaustive analysis with less field trips are reduced. Moreover the physic conditions of the original stratotypes and type localities from these geologic unities are unknow, as well as that from the fossil deposits where holotypes and paratypes fundamentals for the cuban Stratigraphy and Paleontology had been reported. These localities constitute not only a scientific and cultural patrimony but alks the nation geological heritage.

Some of this sites had been affected because of different causes and others had disappear.



Is necessary to make an inventory of every site condition, to take photos of the more representative characteristics to propose or to carry out physical and juridical measures of preservation, among them the sites inclusion into the Preserv Areas National System, and compromise local authorities with the site signing, the protection of the localities and the signals placement as the international experience shows, to preserve the geological heritage.

Key words: geosites, geological heritage, preserve areas

## INTRODUCCION

Las investigaciones realizadas desde tiempos remotos, para conocer la estructura geológica de regiones y países de todo el mundo, con vistas a la explotación económica de zonas donde existen yacimientos de minerales sólidos, petróleo y gas; manantiales de aguas minero medicinales o de consumo humano, ha significado el estudio intensivo de múltiples lugares e implicado el reconocimiento de sitios que son claves para la consolidación de los resultados alcanzados, para las comparaciones necesarias entre las hipótesis de los investigadores de todas partes y por ende para la progresión continua de los conocimientos sobre los temas geológicos.

En los últimos años debido al aumento incesante de la globalización del conocimiento y de la conciencia por la conservación del medio ambiente, ha sido posible proponer y obtener de los organismos nacionales e internacionales distintas denominaciones de geositos y ayuda para su preservación.

La proliferación de estos sitios y áreas necesita un soporte legal elaborado para establecer las prerrogativas y limitaciones en su utilización y depende, en cada país, del nivel cultural y la conciencia de las autoridades y de la población.

Estos datos han sido utilizados para confeccionar la Lista Indicativa Global, de la Herencia Geológica Mundial (Wimbledon, et. al., 1996) que crece cada año con la incorporación de nuevas informaciones.

La constitución geológica del territorio cubano es una de las más complejas de toda la región Caribe-Antillana y posiblemente también del Hemisferio Occidental y es probable que por sus riquezas naturales y por esta misma condición ha sido objeto de investigaciones durante mucho tiempo.

Aún cuando el primer mapa geológico de Cuba fue publicado en 1869, es evidente que desde los tiempos de la conquista, los colonialistas ávidos de oro y plata realizaron evaluaciones y trabajos de exploración, como lo demuestran numerosas citas recogidas en la correspondencia oficial y personal y en los informes de los principales personajes de esos tiempos.

En el siglo XX, con la expansión del poderío estadounidense sobre la economía cubana y el desencadenamiento de la I Guerra Mundial, fue frecuente la exploración de las riquezas nacionales por diferentes compañías mineras y petroleras y el descubrimiento de numerosos sitios geológicos de importancia e interés.

Entre las décadas del 30 y el 50, bajo la presión de la necesidad de minerales para la industria, sobre todo de armamentos, debido a los preparativos y ejecución de la II Guerra Mundial, el territorio de Cuba fue intensamente estudiado por geólogos extranjeros, principalmente holandeses y estadounidenses, entre los que se destacan Vaughan, Thiadens, Rutten, Lewis, Kozary, Hatten, y otros y también por los precursores cubanos José Isaac del Corral, Jorge Brodermann, Antonio Calvache y Pedro J. Bermúdez.

Con el triunfo de la Revolución fue posible el intensivo estudio geológico del subsuelo cubano por especialistas de las organizaciones relacionadas con la Geología en el desaparecido campo



socialista, algunos profesionales latinoamericanos y por los numerosos geólogos cubanos graduados después

Este notable incremento del conocimiento determinó que se multiplicaran las descripciones de unidades lito, bioestratigráficas y cronoestratigráficas, geocronológicas y el establecimiento de unidades edafoestratigráficas, magnetoestratigráficas y geoclimáticas y que se alcanzara un notable conocimiento de la Geología del territorio nacional

Desde hace más de un siglo el pueblo cubano ha tratado de conservar algunos sitios considerados como su patrimonio. Ingentes esfuerzos han realizado gobiernos, principalmente después del triunfo de la Revolución; instituciones oficiales y no gubernamentales e incluso individuos aislados para preservar : edificios, obras de arte y principalmente sitios históricos, donde han tenido lugar los más importantes eventos de formación de la nación cubana.

El surgimiento de un sentimiento ambientalista en Cuba, ha posibilitado el establecimiento de un Sistema Nacional de Areas Protegidas con diversas categorías de manejo de las áreas naturales, pero atendiendo fundamentalmente a la riqueza faunística y florística.

En el artículo 5 del decreto ley 201/99 se establecen las siguientes categorías:

Reserva Natural, Parque Nacional, Reserva Ecológica, Elemento Natural, Reserva Florística Manejada, Refugio de Fauna, Paisaje Natural Protegido y Area Protegida de Recursos Manejados.

En el artículo 3 de ese decreto ley quedan establecidos los niveles de clasificación:

Areas protegidas de significación nacional

Areas protegidas de significación local

REDS, que son regiones extensas donde por la fragilidad de sus ecosistemas e importancia económica y social se toman medidas de atención y coordinación de carácter estructural a nivel nacional.

El proyecto *Léxico Estratigráfico de Cuba*, desarrollado por el Instituto de Geología y Paleontología, en colaboración con otros centros de investigación, permitió actualizar el conocimiento sobre las diversas unidades litoestratigráficas del Archipiélago cubano, de forma que fueron revisadas, enmendadas y añadidas las formaciones geológicas reconocidas y descritas en el territorio nacional desde el pasado siglo, e incluso desde antes o eliminadas si el aumento de conocimientos, presencia de sinonimias, etc., así lo hacía necesario.

El proyecto *Museo "Mario Sánchez Roig"*, un medio de investigación integrado, que también llevó a cabo este colectivo, tuvo entre sus objetivos: diseñar bases de datos digitalizadas de cada grupo de macrofósiles, muestras de rocas y minerales cubanos, conservadas en las colecciones del museo "Mario Sánchez Roig", del Instituto de Geología y Paleontología. Al término del mismo se confeccionaron:

- ◆ B/D de ammonites con 1459 ejemplares
- ◆ B/D de equinodermos con 3303 ejemplares
- ◆ B/D de rudistas con 336 ejemplares
- ◆ B/D de vertebrados con 297 ejemplares
- ◆ B/D de rocas con 777 muestras

No obstante en el desarrollo de las tareas de ambos proyectos se evidenció que las localidades sobre las cuales se ha basado el Léxico Estratigráfico y los yacimientos fosilíferos que muestran o aportaron las más importantes colecciones de animales y plantas fósiles que caracterizan el pasado geológico de Cuba no se encuentran siempre en las condiciones en que fueron estudiadas y descritas y algunas, lamentablemente, han desaparecido por la acción irresponsable o desconocedora de



individuos y centros laborales, privando a la nación de un patrimonio irre recuperable y poniendo en peligro la preservación de la herencia geológica de la misma.

## MATERIALES Y METODOS

En el marco del trabajo de actualización del Léxico Estratigráfico de Cuba, no solo debe valorarse la validez de las distintas unidades litoestratigráficas que lo componen, realizar los cambios pertinentes en edad y/o posición estratigráfica, incorporar nuevas unidades o señalar aquellas que quedan en sinonimia, entre otras cosas, sino que debe realizarse un inventario de las condiciones físicas de cada holoestratotipo, paraestratotipo o afloramiento que constituya una localidad tipo.

La elaboración de un catálogo nacional o a su defecto catálogos provinciales que recojan graficamente (incluyendo las fotografías correspondientes) las características y condiciones de cada una de estas localidades contribuiría a formar una conciencia nacional de conservación de los geositos de interés nacional e incluso internacional, de acuerdo a la importancia de la geología cubana en el ámbito de la región Caribe Antillana.

Catálogos similares deben confeccionarse también para los yacimientos fosilíferos que han aportado restos de gran importancia para el establecimiento de biozonas, para precisar edades geológicas o que constituyen lugares donde se han colectado holotipos de especies animales o vegetales, fósiles, que tienen una significación estratigráfica.

Es necesario realizar una catalogación de los lugares donde han sido localizadas menas, puntos de interés mineralógico o donde estuvieron emplazadas minas, sitios donde se pueden observar cristalizaciones características o de importancia estética.

Todos estos geositos deben evaluarse atendiendo a parámetros diversos que permitirían luego incluirlos en el Sistema Nacional de Areas Protegidas. Estos requisitos pudieran comprender aspectos como:

- 1) Representatividad
- 2) Valor científico
- 3) Valor histórico
- 4) Importancia didáctica
- 5) Valor estetico para el turismo
- 6) Rareza
- 7) Irrepetibilidad
- 8) Vulnerabilidad
- 9) Tamaño
- 10) Accesibilidad

Como parte de un proyecto de Investigación + Desarrollo sería posible acometer este inventario de los geositos y proponer las medidas de conservación, protección, restablecimiento y promoción que no solo impidan su destrucción, sino que posibiliten su incorporación a las actividades, incluso económicas, que interesen a la sostenibilidad de comunidades y gobiernos locales, pues pueden generar, además de su utilización por las instituciones científicas y especialistas y por los centros docentes, visitas de carácter turístico, que son frecuentes en todas partes del mundo.

Una parte importante de este trabajo de conservación de la herencia geológica es la publicación de mapas y catálogos que permitan a los estudiosos y a la población en general, conocer las particularidades de cada lugar.





También es de primordial importancia la señalización conveniente de los geositos. Los gobiernos locales (principalmente municipales) deben quedar encargados del mantenimiento de estos lugares que impida el vertimiento de residuales sólidos, la eliminación de la vegetación que oculte el afloramiento o corte y si es necesario, y posible, el recubrimiento con materiales resistentes y que permitan la visibilidad.

Otro aspecto de la preservación del patrimonio geológico es la conservación de núcleos de perforación y muestras representativas de investigaciones realizadas en yacimientos minerales, minas, obras de ingeniería de difícil cimentación, etc. , de gran importancia para el control de las inversiones y las acciones posteriores.

## CONCLUSIONES

La complejidad de la geología del Archipiélago Cubano determina una gran importancia de los sitios geológicos del territorio, tanto desde el punto de vista nacional como internacional.

La investigación exhaustiva de la geología de Cuba ha significado el descubrimiento y descripción de numerosos sitios de gran interés para la ciencia y la economía cubana.

El desarrollo de las fuerzas productivas en el país debe ir acompañado del crecimiento de una conciencia ambientalista y de preservación del patrimonio que no se limite a los sitios históricos y de importancia por la biodiversidad faunística y florística.

Es necesario emprender un proyecto de Investigación + Desarrollo que permita realizar un inventario del estado de los geositos del país y proponga medidas para su protección y recuperación, así como que realice valoraciones para tratar de incluir dichos lugares en el Sistema de Areas Protegidas.

Como parte de las medidas para la preservación de la herencia geológica es necesario promover la publicación de catálogos de localidades de interés geológico y mapas que muestren los geositos más importantes, de forma que puedan incorporarse a los esfuerzos de sostenibilidad de comunidades y poblaciones.

Los gobiernos locales deben tener entre sus obligaciones la protección de la herencia geológica, incorporando esta actividad a su quehacer cotidiano.

## BIBLIOGRAFIA

Cowie, J.W. 1993. Report of World Heritage. UNESCO. 34 pp.

Gutiérrez Domech, M.R. 1995. Proyecto 240. Base de datos y completamiento de los diferentes tipos de rocas de las unidades litoestratigráficas cubanas. Instituto de Geología y Paleontología. (inédito). La Habana

Lapo, A.V., et. al. 1993. Methodical principles of study of Geological Monuments of Natural in Russia. Stratigraphy and Geological Correlation. Vol. 1, No. 6: 636 – 644. San Petersburg.

Odin, G. S. 1997. Chronostratigraphic units: Historical Stratotypes and Global Stratigraphy in Montanary, A. , G.S. Odin; y R. Coccioni. 1997. Miocene Stratigraphy. An Integrated Approach. Evelopments in Palaeontology and Stratigraphy, 15. Elsevier Publishing Company. Amsterdam



Poignant, A.; C. Pujol; M. Ringeade y L. Londeix. 1997 The Aquitanian Historical Stratotype. in Montanary, A. , G.S. Odin; y R. Coccioni. 1997. Miocene Stratigraphy. An Integrated Approach. Evelopments in Palaeontology and Stratigraphy, 15. Elsevier Publishing Company. Amsterdan

Serjani, A.; A. Neziraj y N. Jozja. 1998. Preliminary classification of Geological sites of Albania. Bulletin of the Geological Society of Greece. Vol XXXII/1, : 33 –40. Athens

Todorov, T. 1997. Conservation of the geoligcal heritage in Bulgaria: Present state and future initiatives. In Marinos, P.G.; Koukis, G.C.; Tsiambaos, G.C.; and G.C. Stournaras. Engineering Geology and the Environment. Balkema



## NUEVAS CONSIDERACIONES GEOLOGO – GEOFÍSICAS SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL BOSQUE FÓSIL DE NAJASA.

**Antonio Barroso Betancourt<sup>(1)</sup>, Tomás Ayata Rodríguez<sup>(1)</sup>, Manuel García Palomino<sup>(1)</sup>, Roberto Viltres Morales<sup>(1)</sup>, Abraham Camero Santiesteban<sup>(1)</sup>, Luis Fuentes Salas<sup>(1)</sup> y Ricardo Sánchez Figueredo<sup>(1)</sup>.**

<sup>(1)</sup>Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este Km 5½, Camagüey, Cuba, E-mail: [antoniobb@geomineracmg.co.cu](mailto:antoniobb@geomineracmg.co.cu).

### RESUMEN.

La naturaleza y origen del Bosque Fósil de Najasa en la provincia de Camagüey, no está totalmente esclarecida, de hecho existen varias hipótesis de formación con diferencia de criterios. Sin embargo las últimas investigaciones geofísicas realizadas en el sector "La Estrella", con el objetivo de localizar en la profundidad árboles fósiles en mejor estado de conservación, para el Turismo de Naturaleza, han revelado nuevas informaciones que aclaran en cierta medida su evolución. Para este trabajo fueron utilizadas todas las investigaciones precedentes que se han acometido en el sector, desde su descubrimiento en 1887 por el Padre Escolapio Pío Galtés, hasta los trabajos geólogo - geofísicos ejecutados por la Empresa Geominera de Camagüey en los años 2003 - 04.

El método geofísico empleado fue la Tomografía Eléctrica Wenner (TEW) y el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). Con los cuales se determinó la presencia de un paleocauce relleno de material silíceo (Si =25-30%) que responde a intensidades  $R_a > 120 \Omega/m$  sobre un fondo de 30 - 45  $\Omega/m$ ; que junto a la foto interpretación, donde se observa claramente la presencia de una supuesta estructura paleovolcánica y a las evidencias geológicas existentes: árboles fósiles en posición natural y distribuidos en una extensión longitudinal y de poco ancho, entre otras, permiten atribuir la fosilización de las plantas de "El Chorrillo" a la acción de fuentes termales.

### ABSTRACT.

The nature and origin of the Fossil Forest of Najasa at Camagüey Province, are not totally illustrious, in fact several hypothesis exists on it's formation with difference of criterion. However the last geophysical investigations carried out in the sector "La Estrella", with the objective of determining the presence of well preserved silicified trees in the depth, for the Tourism of Nature, have revealed new informations that they clarify his evolution to some degree. All available precedent investigations undertaken on theis sector, since it's discovery in 1887 by the Father Escolapio Pío Galtés, up to geological - geophysical works carried on by Empresa Geominera de Camagüey in 2003 – 04, has been used for this paper.

Used geophysical method was Electric Tomografía with Wenner (ETW) and Vertical Electric Sounding (VES) array. Which allowed to determine the presence of a paleochannel of siliceous material was determined (SI =25-30%) that responds to resistivity intensities grater than 120 $\Omega/m$  over a background of 30 - 45 $\Omega/ m$ . These results together with photo interpretation that clearly shows the presence of a supposed paleovolcanic structures, and geologic evidences: fossil trees in their natural position aligned in a not very wide belt, among other, suggest the action of hot spring in trees fossilization at "El Chorrillo".



## INTRODUCCIÓN.

En 1887 el Padre Pío Galtés, naturalista de las Escuelas Pías de Guanabacoa, estimulado por un fragmento de palma fosilizada llevada a La Habana por el Padre Escolapio Francisco Clerch, concibió la idea de investigar la localidad de donde procedía el ejemplar; trasladado al colegio de Camagüey realizó su proyecto y el 21 de febrero de ese mismo año en la zona conocida por “Caridad del Chorrillo” hoy finca “La Estrella”, perteneciente al municipio de Najasa, tuvo el placer de ver realizados sus sueños, al recolectar muchos ejemplares de maderas silicificadas que aparentemente representaban un buen número de especies distintas (57 especies). Luego estudiarían el lugar en 1921 otros destacados naturalistas como el Hermano León (Socio Corresponsal de la Sociedad Geográfica de Cuba y profesor del Colegio de La Salle), el Padre Modesto Roca (Rector de las Escuelas Pías de Guanabacoa) y ya más reciente en 1981 investigadores de la Academia de Ciencias, entre ellos el Dr. Manuel Iturralde – Vinent, los que expondrían sus hipótesis de formación de dicho bosque.

En el año 2003 a petición de Flora y Fauna se realizan los trabajos de ubicación cartográfica y delimitación geológica del área de desarrollo del Bosque Fósil por la Empresa Geominera de Camagüey y más tarde (en los meses de Marzo – Abril del 2004) por recomendación geológica, los trabajos geofísicos, con el objetivo de localizar en la profundidad árboles fósiles en mejor estado de conservación, para la creación en un futuro de Senderos Turísticos de Naturaleza.

## DESARROLLO

Como resultado de sus investigaciones, el sacerdote Pío Galtés llegó a la conclusión, que la fosilización de las plantas de “El Chorrillo” se había producido más bien en el interior de la tierra con cierta humedad y bajo la acción de determinadas corrientes eléctricas, que en el seno de las aguas, aunque no descartaba esta última, destacando además las siguientes aseveraciones que sirven de punto de partida para nuestro trabajo.

- “Todos los fósiles pertenecen al parecer a especies que existen en la actualidad en la Isla de Cuba”.
- “Varias especies vegetales a que pertenecen los fósiles son propias de terrenos próximos a las aguas”.
- “Los fósiles ocupan en el terreno una extensión que tiene poco ancho y bastante largo no estando regados al acaso, sino como localizados en esa disposición”.
- “Los fósiles hallados sin negar que puedan encontrarse en subsuelo, pues que esto no lo pude examinar, estaban en la superficie del terreno y algunos como enterrados en su posición natural”.
- “El terreno donde se hallaron los fósiles es bastante bajo cubierto de una muy buena capa vegetal de unos 30 o 40cm de espesor con un subsuelo arcilloso, que por la poca efervescencia que produjo al ser tratado por los ácidos podría llamarse greda”.
- “Examinados los alrededores del citado potrero vi dos corrientes de aguas, pero tan distantes actualmente del lugar donde se encontraron los fósiles que la más próxima dista al menos de una legua”.



Y algo muy importante:

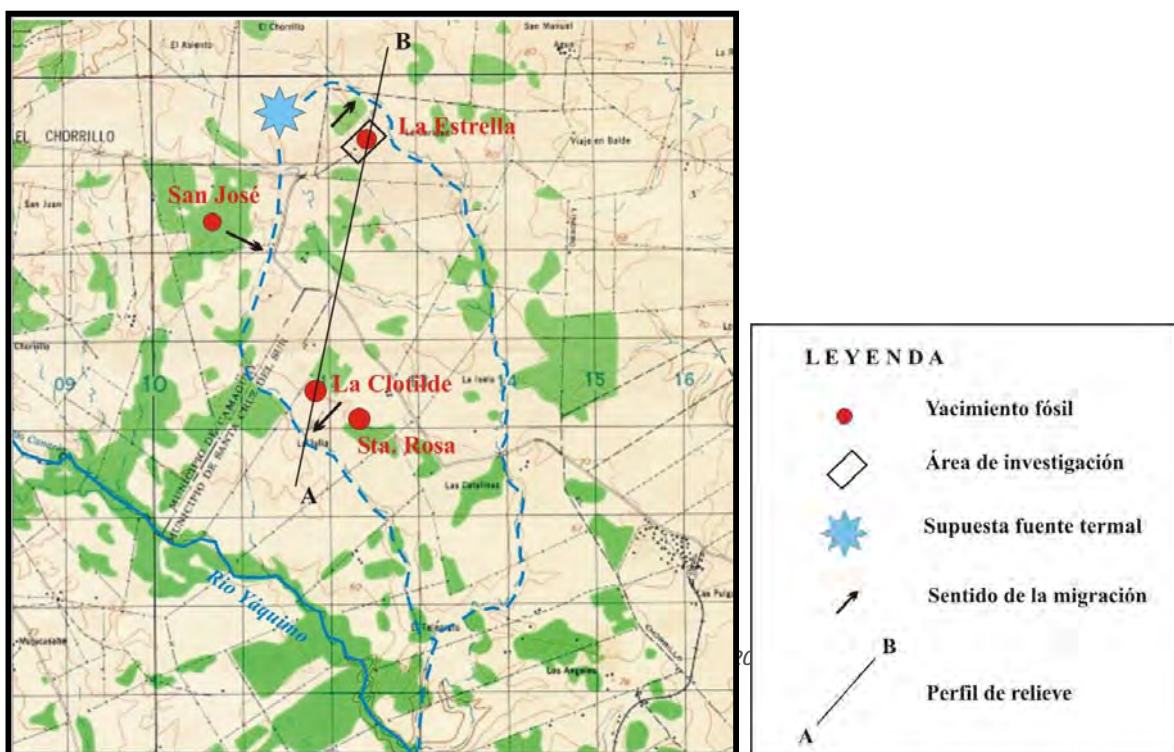
- “Troncos y ramas, y en algunos casos alguna raíz, es lo único que he podido encontrar entre los numerosos ejemplares que se hallaron en El Chorrillo. Las hojas, flores y frutos tan necesarios para verificar la deseada clasificación o no existen en aquel lugar o no tuvimos la suerte de dar con ellos”.

Mientras en 1921, el destacado naturalista Padre Modesto Roca atribuye la fosilización a la acción de los géisers, señalando que posteriormente al período de actividad volcánica del Eoceno, hubiesen existido varios en la parte central de la Isla, produciendo la silicificación por medio de la geyserita de sus aguas. Al respecto, el hermano León planteaba: “Esa hipótesis concuerda bien con ciertos hechos que pueden observarse en la actualidad, como la posición vertical y fuera del suelo de cierto número de troncos silicificados, y su distribución en una extensión longitudinal y de poco ancho, como si hubiesen estado, en aquellos tiempos, en las orillas de un río; actualmente no hay río sino a una legua de distancia”.

La presencia de la vegetación fósil de *Najasa* queda relegada al plano del olvido, sin precisar su importancia científica y práctica, hasta que en 1981 investigadores de la Academia de Ciencias, entre ellos el Dr. M. Iturralde – Vinent visitan el lugar y afirman: “La ocurrencia en el Pleistoceno de un evento meteorológico de gran intensidad (huracán), producto del cual fueron derribadas grandes cantidades de ejemplares de la foresta existente, la que quedó cubierta por los sedimentos aluvio – deluviales, en los cuales existieron las condiciones necesarias (medios con altos contenidos de sílice, que permitió el intercambio molecular y sustitución de la parte vegetal por la sílice), produjo como resultado los árboles petrificados”.

### Investigaciones geofísicas.

El área de estudio se encuentra ubicada a 62 km al sudeste de la ciudad de Camagüey y a 3 km al este de la Sierra del Chorrillo, estando situado el sector “La Estrella” al sur de uno de los arroyos que alimentan al Río Yáquimo ver (Fig-1). Los otros yacimientos fósiles hasta ahora reportados: San José, La Clotilde y Santa Rosa, pertenecen a otra corriente hidrográfica, que como veremos más adelante fue la causante de su petrificación.





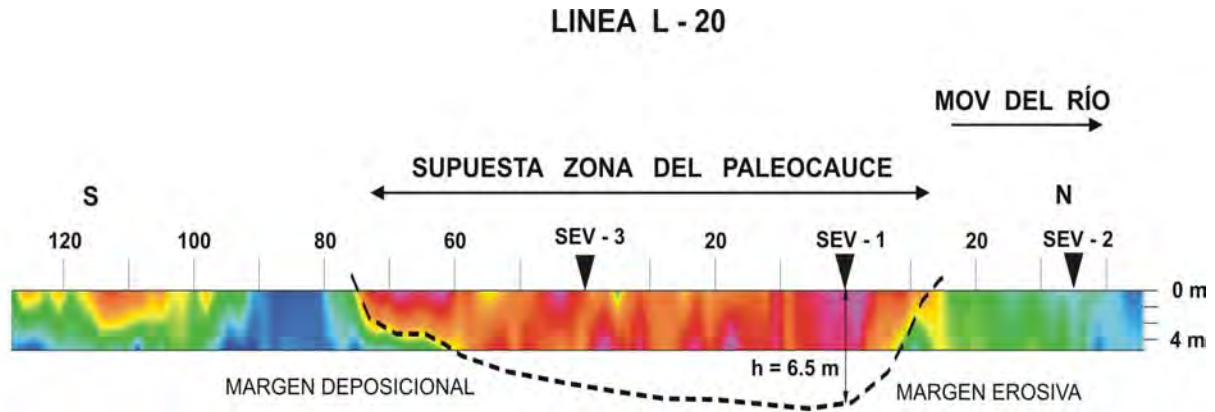
**Figura 1.** Plano de Ubicación de los distintos yacimientos.

El método geofísico empleado fue la Tomografía Eléctrica Wenner (TEW) para una distancia entre electrodos de  $a=1\text{m}$  y cantidad de dipolos de ( $n=6$ ) en un área de ( $50 \times 200\text{m}$ ) y en una red de investigación de ( $5 \times 1\text{m}$ ). Esto permitió estudiar con detalle las variaciones geoeléctricas (imagen eléctrica) hasta la profundidad de 4m. Además se ejecutaron 3 puntos de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) con una separación máxima entre los electrodos de corriente ( $C1-C2$ ) = 150m y distancia entre puntos de 30 - 40m, con el objetivo de conocer el comportamiento del corte geoeléctrico a una mayor profundidad.

Los resultados de estas investigaciones señalaron la presencia de una zona anómala con resistividades  $R_a > 120\Omega/\text{m}$  sobre un fondo 30 - 45  $\Omega/\text{m}$ , que se manifiesta desde los primeros dipolos ( $h=0.00-0.45\text{m}$ ) hasta el dipolo  $n=6$  ( $h=3.03-3.94\text{m}$ ), quedando abierta en la profundidad para la TEW, no así para los puntos de SEV que la detectan hasta  $h=6.5\text{m}$  en su parte más profunda (SEV-1), mapeándose por debajo de esta profundidad una zona de baja resistividad, mientras el (SEV-3) la detecta hasta la profundidad de 5.2m. Según la interpretación geológica, la zona de alta resistividad responde a un supuesto paleocauce relleno de material silíceo, que al ser comprobada con pequeñas perforaciones manuales (Auger) hasta la profundidad de  $h=1.20\text{m}$ , en los distintos perfiles que la atraviesan, siempre se detectó un material blancuzco arenoso con contenidos de sílice ( $\text{Si} = 25-30\%$ ), determinándose en sus flancos, arcillas plásticas de color carmelita claro hasta colores más oscuros.

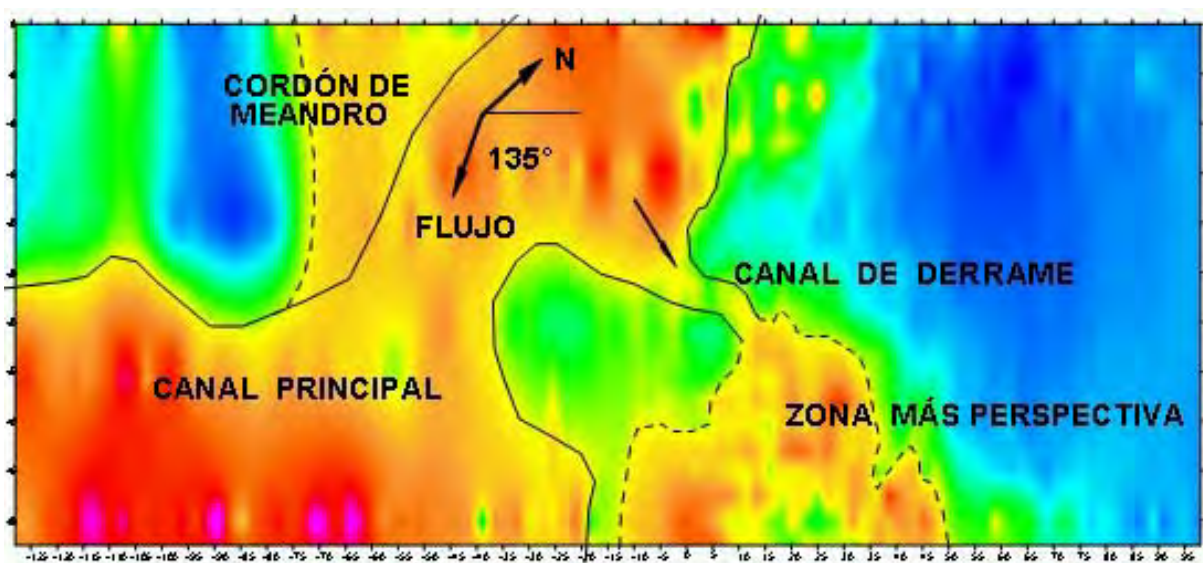
Si observamos con detenimiento una de las pseudo-secciones medidas con la TEW, línea L-20 (Fig-2) sacamos las siguientes conclusiones: la zona anómala presenta una extensión aproximada de 85m desde las estaciones E-75S hasta E+10N, que responde según su comportamiento, a toda el área que ocupó el paleocauce a lo largo del tiempo (canales móviles), P. Friend, 1983. Con sus márgenes bien definidas; la sur con pendiente mucho más suave representa la margen deposicional, mientras la norte, mucho más abrupta, es la erosiva. Implicando que su migración como se indica en la figura, fuera hacia el norte. Por lo tanto este arroyo en épocas pasadas presentaba una gran sinuosidad, debido a las variaciones que se observan en sus paleocorrientes y a su relación anchura – profundidad (13m), inferior a 40m, según la clasificación para cursos meandriformes (A. Miall, 1981).





**Figura 2.** Imagen Digital de la Tomografía Eléctrica. Seudo-sección.

Este resultado, nos hace pensar en la presencia de un río por donde corrió agua cargada con abundante sílice y material areno - arcilloso, asociados tal vez a manantiales calientes que pudieron emerger por alguna grieta profunda. (Recordando además que el gradiente geotérmico de la Tierra crece con la profundidad a un ritmo de 3°C por cada 100m). Consecuentemente, a una profundidad de 1km, la temperatura del agua subterránea debe alcanzar 30°, siendo mayor en regiones volcánicas y en zonas de movimientos tectónicos (G. Gorshkov, 1977) y esta zona como se sabe, pertenece a rocas que se formaron en las cuencas superpuestas, que constituyeron un territorio muy activo, con importantes movimientos verticales e intensa sismicidad.





**Figura 3.** Imagen Digital en planta de la Tomografía Eléctrica. Área de los trabajos realizados.

En la figura N° 3, se muestra la Imagen Digital de las variaciones geoelectricas del sector de los trabajos para el dipolo  $n=3$  ( $h=0.97-1.56m$ ), donde aparece mapeado el recorrido del paleocauce, con un acimut preferentemente  $Az=135^\circ$ . Aquí se observa su gran sinuosidad, además de elementos morfológicos, como un cordón de meandro y la presencia de un supuesto canal de derrame, el que es acompañado de una zona anómala ( $R_a > 120\Omega/m$ ) con ancho aproximado de 60m, que representa el área de mayor interés en la localización de árboles fósiles petrificados en la profundidad, por estar ubicada en una de sus márgenes y poder responder a una zona de ambiente tal vez palustre.

### Posible Evolución del Bosque Fósil Petrificado.

1. El Bosque se encontraba en estado normal en el Pleistoceno (M.Iturralde,1984), sus árboles crecían con gran desarrollo en las márgenes de los ríos o en las zonas de fallas.
2. Por dicho río podrían correr aguas termales cargadas de sílice, que por alguna crecida o simplemente por la obstrucción de su corriente, se salen de su cauce aprovechando quizás algún canal de derrame (Fig.2) y alcanzan cierta altura, cubriendo parte de los árboles.
3. Estas aguas permanecen tranquilas en un ambiente tal vez palustre, favorable para el intercambio molecular de la parte vegetal por la sílice en las partes cubiertas. Mientras las partes de los árboles que no están bajo su acción, empiezan a secarse y a caerse.
4. Con el transcurso del tiempo, los árboles perdieron sus ramas, hojas, flores y frutos. La sílice pasó a sustituir a las moléculas orgánicas y en algunos milenios se petrificaron sus troncos y raíces.
5. Los Movimientos Neotectónicos, responsables del relieve actual, actúan sobre la región y con ellos también la erosión. (Asumiendo que el sector "La Estrella" pertenece a un bloque elevado). Los árboles petrificados al ser más resistentes comienzan a aflorar. El río migra buscando un nuevo cauce.
6. La erosión hizo que afloraran por completo los árboles petrificados, encontrándoselos primero Galtés (1887) y luego León y Roca (1921) en posición natural y alineada, como si estuvieran a la orilla de un río. Sin saber que se encontraban a la orilla de un paleocauce.
7. La propia erosión se encargaría de la caída y fractura de los troncos silicificados y luego el hombre con sus actividades agrícolas los dispersaría por todo el sector y lo llevaría al estado de degradación en que se encuentra.

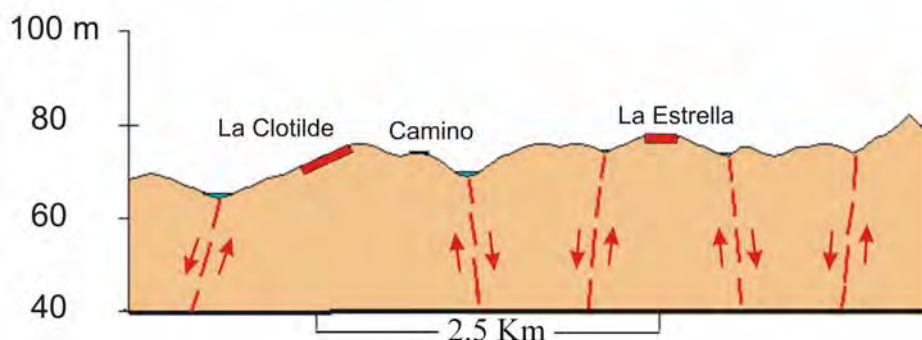
### Evidencias geológicas.

A favor de esta hipótesis, podemos mencionar varias evidencias geológicas que se pueden observar en la actualidad, como son:

- La localización en la foto - interpretación de una supuesta estructura circular paleovolcánica, que hemos denominado "La Estrella" al ubicarse este sector en su flanco interno norte, los demás sectores ("San José", "La Clotilde" y "Santa Rosa") se ubican en el flanco externo oeste y sur por ese orden. Perteneciente a esta estructura pudo quedar abierta alguna grieta o falla profunda, por donde emergieron posteriormente las aguas termales cargadas en sílice (migración coloidal).



- La presencia de rocas de alteración hidrotermal cercanas al sector de los trabajos, indicándonos que esta estructura otrora estuvo activa.
- La ubicación del sector “La Estrella” en relieve positivo; pertenece a un bloque elevado con cotas de 75-78m (Fig. 4).
- La posición vertical y fuera del suelo de cierto número de troncos petrificados en el sector “Santa Rosa” y “La Clotilde”, ésta última con cotas más bajas (70-75m), por lo que se encuentra en mejor estado de conservación.
- La coincidencia en la dirección en que corren los arroyos actuales ( $Az=130-140^\circ$ ), con el paleocauce localizado por las investigaciones geofísicas ( $135^\circ$ ).
- La adherencia que tiene el material blancuzco ( $Si=25-30\%$ ) con algunos restos fósiles, siendo el mismo material que se cortó en el paleocauce con las pequeñas perforaciones.
- Las fracturas perfectas que presentan dichos fósiles; como que ocurrieron producto de su caída, y no antes de su formación, al no existir evidencias de astillamiento.



**Figura 4.** Línea de relieve topográfico. Sectores: La Clotilde – La Estrella.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con las investigaciones geofísicas (presencia de un Paleocauce relleno de material silícico), así como las evidencias geológicas existentes, permiten atribuir la petrificación de los árboles de “El Chorrillo” a la acción de los manantiales termales. Teniendo correspondencia con lo observado por Pío Galtés en 1887, cuando se encontraba en mejor estado de conservación el Sector “La Estrella” y que fueron:

- Varias especies vegetales a que pertenecen los fósiles son propias de terrenos próximos a las aguas.
- Los fósiles ocupaban en el terreno una extensión longitudinal y de poco ancho, como si hubiesen estado en aquellos tiempos, en las orillas de un río.
- Los fósiles hallados estaban en la superficie del terreno y algunos como enterrados en su posición natural.
- Troncos y ramas, y en algunos casos alguna raíz, fue lo único que pudo encontrar entre los numerosos ejemplares que se hallaron en “El Chorrillo”. Las hojas, flores y frutos no existen en aquel lugar.

## RECOMENDACIONES



En el futuro será necesario continuar las investigaciones geofísicas en el sector “La Estrella”, para tener más elementos a favor de esta hipótesis de formación, utilizando en los sectores mejores conservados (“La Clotilde” y “Santa Rosa”) la siguiente metodología:

1°- Localización del paleocauce con variantes más rápidas y económicas, como el Perfilaje Eléctrico Simétrico de doble abertura, acompañado de puntos de SEV.

2°- Utilización en las zonas más perspectivas (márgenes) la TEW para la detección de los posibles árboles fósiles en la profundidad.

3°- Como culminación de los trabajos, realizar algunos laboreos mineros (trincheras) para la comprobación de las zonas anómalas.

## BIBLIOGRAFÍA

Friend, P., 1983. Towards the field classification of alluvial architecture or sequence. In: Modern and Ancient Fluvial Systems. Ed. by J. D. Collinson and J. Lewin, Int. Assoc. Sediment. Spec. Pub; 6: 195 – 206.

Galtés, P., 1887. Memorias sobre unos fósiles vegetales encontrados en el Chorrillo (Puerto Príncipe). La Enciclopedia. La Habana.

Gorshkov, G, A. Yakushova., 1977. Geología General, Editorial Mir, Moscú, 570p.

Iturralde, M., 1988. Naturaleza Geológica de Cuba, Editorial Científico – Técnica, La Habana, 146p.

León, Hermano., 1921. La Flora Fósil de Cuba en la actualidad. La Habana, 6p.

Miall, A. D., 1981. Analysis of Fluvial Depositional Systems. Am. Ass. Petrol. Geol., Fall Education Conference, Calgary, 75p.

Piñero, E., L. Fuentes., y otros. 2003. Informe: Demarcación Geológica del área de desarrollo del Bosque Fósil en la zona Santa Rosa – La Clotilde y sus alrededores.

Viltres, R., A. Barroso., y otros 2004. Informe: Trabajos geofísicos en el área de desarrollo del Bosque Fósil, sector “La Estrella”.



## LOCALIDADES DEL LÍMITE CRETÁCICO-TERCIARIO EN CUBA: UNA HERENCIA NATURAL ÚNICA, Y NECESIDAD DE SU CONSERVACIÓN PATRIMONIAL

**Reinaldo Rojas-Consuegra<sup>1</sup>, Dora García-Delgado<sup>2</sup>, Manuel A. Iturralde-Vinent<sup>1</sup>, Consuelo Díaz-Otero<sup>2</sup>**

(1) Museo Nacional de Historia Natural. Obispo 61, Plaza de Armas. La Habana, CP10100. Cuba.

E-mail: [rojas@mnhnc.inf.cu](mailto:rojas@mnhnc.inf.cu)

(2) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, CP11000. Cuba.

### RESUMEN

En la última década las investigaciones de los depósitos relacionados con los procesos ocurridos en el límite Cretácico – Terciario (LKT) han sido intensas en Cuba. Numerosas localidades con depósitos referidos al K/T han sido documentadas a lo largo y ancho de nuestro territorio; las más importantes de ellas han sido estudiadas en detalle, empleando modernas técnicas analíticas. Entre las localidades más destacadas a conservar se proponen (de occidente a oriente): Provincia de Pinar del Río -Moncada (Fm. Moncada), Río San Miguel (Fm. Cacarajícara); ambas perteneciente paleogeográficamente al Margen Continental de la Península de Yucatán; Provincias Habaneras -Santa Isabel (Fm. Peñalver), Cantera de Peñalver (Localidad Tipo de la Fm. Peñalver); -Canteras Victoria I y II (Fm. Peñalver); Provincia de Matanzas -Cantera Jesús María (Fm. Peñalver); relacionadas con el Arco Volcánico Cretácico extinto (AVCE); y Provincia de Villa Clara - Loma Capiro (Fm. Santa Clara); asociada al talud del AVCE o la Cuenca de antepaís. Las secciones estratigráficas documentadas en detalle son testigos de carácter único e irrepetible en el registro geológico del LKT cubano, y constituyen la prueba de los resultados publicados hasta el momento en órganos de reconocido impacto para las geociencias a nivel mundial. Se han logrado resultados de significación global, que han aumentado considerablemente el conocimiento sobre la temática en nuestro país. Todo lo anterior avala la protección y conservación de las "localidades tipo del LKT" en nuestro territorio, asumido como deber ético y social ineludibles; aun más en la actualidad cuando se gana conciencia en el reconocimiento de la herencia de la Tierra, como elemento basal del medioambiente.

### ABSTRACT

In the last decade the investigations of the deposits related with the processes happened in the Cretaceous-Tertiary boundary (KTB) they have been intense in Cuba. Numerous localities with deposits referred to the KTB boundary have been documented along our territory; the most important in them have been studied in detail, using modern technical analytic. Among the most outstanding localities to be conserved propose (of occident to east): Pinar del Río province -Moncada (Moncada Fm.), Río San Miguel (Cacarajícara Fm.); both paleogeographically belonging to the Continental Margin of the Peninsula of Yucatan; Havanan counties - Santa Isabel (Peñalver Fm.), Quarry of Peñalver (Type locality of the Peñalver Fm.); Quarries Victoria I and Victoria II (Peñalver Fm.); Matanzas province -Quarry Jesus María (Fm. Peñalver); all of them related with the extinct Cretaceous Volcanic Arc; and in the Villa Clara province -Hill Capiro (Santa Clara Fm.). The stratigraphic sections documented in detail are witness of unique character and non repeatable in the geological record of the Cuban KTB, and they constitute the support of the results published until the moment in organs of grateful impact for the geosciences at world level. Results of global significance have been achieved, that had improved the knowledge on the thematic in our country. All the above-mentioned endorses the protection and conservation of those " KTB type localities" in our territory, assumed as unavoidable ethical and social duty; even at the present time when conscience is won in the recognition of the inheritance of the Earth, as basement of the natural environment.



## INTRODUCCIÓN

En la última década las investigaciones de los depósitos relacionados con los procesos ocurridos en el límite Cretácico – Terciario (LKT) han sido intensas en Cuba.

La presente guía es el resultado de la prospección de los depósitos formados a finales del Cretácico como consecuencia de los procesos desarrollados en la Tierra, provocados por el impacto extraterrestre de Chicxulub, en la Península de Yucatán, México.

Debido a la posición paleogeográfica que ocupaban los terrenos y cuencas sedimentarias que hoy forman parte del complejo substrato geológico del territorio cubano, y como resultado de no menos complejos procesos de evolución tectónica, en Cuba aparecen hoy excepcionales depósitos rocosos testigos del LKT.

El estudio desde hace casi diez años atrás del LKT en nuestro territorio, ha permitido que hoy podamos conocer en detalle la ubicación y características de las secuencias del LKT, su ubicación geográfica y su distribución tanto areal como estratigráfica.

El principal objetivo del presente trabajo es dar a conocer una síntesis de las características de las principales localidades donde se han estudiado en detalle los depósitos del LKT en Cuba, para que sirva de guía a las acciones de valoración del patrimonio geológico cubano, su protección y su uso. Una línea de trabajo que debemos asumir como parte de la cultura de la naturaleza que debe fomentar nuestra sociedad, y que nos corresponde por especialidad y por ética profesional a la comunidad de geocientíficos cubanos.

Este trabajo ha sido realizado por un equipo de geólogos cubanos que han participado en las investigaciones precedentes, junto a un grupo de especialistas japoneses, españoles y mexicanos, que ha generado una literatura especializada actualizada sobre el tema y que se relaciona en la bibliografía; donde puede encontrarse una amplia y profunda información complementaria a la que aquí se brinda.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Numerosas localidades con depósitos referidos al LKT han sido documentadas a lo largo y ancho de nuestro territorio; las más importantes de ellas han sido estudiadas empleando modernas técnicas analíticas. Se han logrado un conocimiento cualitativamente nuevo y hasta hoy inédito, no solo sobre las unidades litoestratigráficas estudiadas, sino de significación global, que ha aumentado considerablemente la comprensión que se tenía sobre la temática en nuestro país.

La presente guía comprende las localidades del LKT más importantes de la región occidental y central de Cuba, agrupadas por formaciones geológicas. Se brinda la ubicación geográfica mediante coordenadas a escala 1: 50 000, lo que facilita su representación gráfica en mapas de distribución.

En general más de 50 sitios con diferentes grados de aflorabilidad y preservación de los depósitos del LKT han sido revisados, solo en la región occidental de Cuba; de ellas se han seleccionado un número mínimo de localidades que merecen ser protegidas como testigos de la inestimable información acumulada, y que representaran fuentes casi inagotable de investigaciones sobre la temática, para la comunidad científica cubana e internacional.

En las localidades listadas se han comprobados los indicadores o indicios de su pertenencia a los depósitos del LKT, entre ellos: anomalía de Iridio; microtektitas y esférulas de vidrio u otros minerales; cuarzo de impacto; brecha basal con intraclastos de las unidades subyacentes; contacto basal erosivo; secuencias granodecrecientes positivas; estratificación lenticular y cruzada; estructuras de pilar, volcanes y otras de escape rápido de fluidos; potencias gigantescas de hasta más de 800 metros; cóctel paleontológico; fósiles índices del Maastrichtiano tardío, y otras. Además, todas las





secciones han sido analizadas exhaustivamente desde el punto de vista petrológico y geoquímica, por lo que se cuenta con una data muy completa, de inestimable valor científico.

Para cada localidad propuesta se brinda una ficha que incluye la información básica más importante. Se nominan las localidades de forma estándar (incluido un código con letras y número de orden, ej. LKT-1 "Moncada"), se da la ubicación geográfica general, además incluye la hoja topográfica y las coordenadas X, Y; el Municipio y Provincia al cual pertenece cada sitio.

También se declara el nombre de la unidad litoestratigráfica a la pertenece la sección estudiada, y se hace una breve descripción de la unidad. Se definen el estado de protección actual que presenta el sitio de interés, se estima su posible uso, y se esbozan las probables amenazas que se deducen de acuerdo a su entorno actual. Finalmente, se brindan las referencias de las principales fuentes bibliográficas donde está contenida la información especializada sobre la sección a proteger.

Desde el punto de vista informal se designa cada localidad como Tipo o Cotipo, para la unidad a que pertenece. Esta nomenclatura es informal, y fuera de las reglas del código estratigráfico internacional, con la intención de servir de base para un ordenamiento futuro del valor de cada sección identificada perteneciente a este paleoevento específico.

La presente propuesta debe servir de base para declarar las localidades caracterizadas, con alguna categoría patrimonial, al menos, como Elemento Natural Destacados (END), a nivel de los municipios donde están ubicadas. Dentro de esta categoría se incluyen los estratotipos, según la *Ley 201 del Sistema Áreas Protegidas*, vigente en nuestro país (CNAP, 2000). La presente propuesta, además, está en consonancia con la "*Declaración de los derechos de la Tierra*" (Francia, 1990) y el *Programa GESITES* de la UNESCO.

## RESULTADOS

Los resultados de las investigaciones aquí tratadas permiten afirmar que en Cuba existen los depósitos aflorados más potentes que se conocen en el Mundo referidos al LKT; y que además, singularmente, pertenecen a varios dominios paleogeográficos; por ello también su valoración es objeto de atención.

Entre las localidades más destacadas a conservar se proponen (de occidente a oriente): Provincia de Pinar del Río - Moncada (Fm. Moncada), Río San Miguel (Fm. Cacarájicara); ambas perteneciente paleogeográficamente al Margen Continental de la Península de Yucatán; Provincias Habaneras - Santa Isabel (Fm. Peñalver), Cantera de Peñalver (Localidad Tipo de la Fm. Peñalver); - Canteras Victoria I y II (Fm. Peñalver); Provincia de Matanzas - Cantera Jesús María (Fm. Peñalver); relacionadas con el Arco Volcánico Cretácico extinto (AVCE); y Provincia de Villa Clara - Loma Capiro (Fm. Santa Clara); asociada probablemente al talud del AVCE o la Cuenca de antepaís.

### Localidades a declarar patrimonio natural relacionadas con el LKT en Cuba

#### LKT-1 "Moncada"

- Ubicación: Afloramiento en ambos lados la carretera de Viñales a Pons, a unos 50 m del entronque de la entrada al poblado de Moncada.
- Hoja Topográfica 3483-IV, Coordenadas: X = 207500; Y = 305600.
- Municipio: Viñales Provincia: Pinar del Río
- Unidad: Fm. Moncada (Tada *et al.*, 2002).



**Descripción:** Corte en la pared sur, donde aparece de calizas micríticas grises oscuras en el subyacente, probablemente correspondientes a la Fm. Pons, sobre la que con contacto erosional descansa un paquete débilmente metarforizado, de 2 m de espesor. Está formado por secuencias repetitivas de arenisca calcárea, que en su base es una calcirudita, que pasan gradualmente a areniscas calcáreas de grano fino.

Estas subunidades granodecipientes y estratodecipientes se repiten hasta cinco veces, presentando indistintamente, laminación paralela, cruzada o lenticular. En el tope aparece una fuerte anomalía de Iridio (~800 ppt). La sección contiene abundante cuarzo de choque, fragmentos de fundido de impacto vesicular alterado, granos deformados posiblemente de vidrio de impacto y variada microfauna en el coctel paleontológico. El depósito del LKT está cubierto por las calizas arcillosas de color violáceo de la Fm. Ancón (Paleógeno).

Figura 1 Localidad tipo Formación Moncada, Entronque Moncada, carretera Viñales-Pons.

- **Valores:** Localidad Tipo de la Fm. Moncada (Tada *et al.*, 2002). Único corte completo de un depósito del LKT con solo 2 m espesor, que incluye una fuerte anomalía de Ir, presenta rasgos sedimentológicos que indican direcciones de paleocorrientes poco comunes, secuencias testigos de trenes de tsunamis, único por su origen paleogeográfico. Fácil acceso (Fig. 1).
- **Protección:** Ya existen antecedentes de protección de la localidad, donde se colocó una placa de identificación, por parte del MINTUR, aunque no se le ha designado con ninguna categoría patrimonial.
- **Uso:** Científico, docente, patrimonial y turístico especializado.
- **Amenaza:** Relativamente baja, ampliación de la vía, toma de material rocoso, recubrimiento ocasional por acumulación de sedimentos o derrumbes.
- **Fuentes:** Tada *et al.*, 2002; Iturralde-Vinent, *et al.*, 2000; Díaz Otero, C., Iturralde-Vinent, M., Delgado, D. E., 2000.

### **LKT-2 “Río San Diego”**

- **Ubicación:** Lecho del río San Diego, al norte de Loma Polier, desde el puente de la carretera de Soroa a Bahía Honda, y hasta una elevación cortada por la carretera, unos 800 m hacia el NW.
- **Hoja Topográfica** 3584-II, **Coordenadas:** X = 287 800; Y = 33 9300
- **Municipio:** Soroa **Provincia:** Pinar del Río
- **Unidad:** Fm. Cacarajícara (Hatten, 1957).



Figura 2 Vista de la brecha basal de la Fm. Cacarajícara en el Río San Diego.

- **Descripción:** A todo lo largo del lecho del río se observa la secuencia completa de la unidad desde su límite erosivo inferior con la Formación Santa Teresa, hasta su tope tectonizado con la Fm. Ancón. La unidad de Cacarajícara en la faja de Rosario en Cuba Occidental, está compuesta por una secuencia clástica calcárea de más de 700 m de espesor, que contiene cuarzo de impacto a lo largo del corte y microesférulas de Smectita, y de Goethita. Se caracteriza por sedimento calcáreo homogéneo, bien seleccionado, con fragmentos de carbonatos de aguas poco profundas y carbonatos de aguas profundas. Se identifican tres miembros, como sigue: miembro más inferior, consiste en clastos granoclasificados de carbonatos, con bloques rodados grandes de silicita negra (*chert*), yaciendo discordantemente sobre los sedimentos cretácicos de aguas profundas. Interesante de este afloramiento es la presencia de bloques aislados de silicitas de varias decenas de centímetros, hasta más de tres metros. Se pueden observar además diques neptunianos. El miembro medio consiste en un *grainstone* homogéneo, masivo, con distribución gradada, con raras estructuras de escape de fluido en el potente *grainstone*, y la secuencia bien estratificada. El miembro superior consiste en un *grainstone* fino masivo hasta *mudstone* limoso sin bioturbación. De esta manera, la Formación de Cacarajícara puede identificarse como un “flujo hiperconcentrado”, relacionado con haber sido formado por un flujo concentrado de alta energía y gran velocidad.
- **Valores:** Localidad Tipo (¿?) de la unidad. Gigantesca potencia, composición particular como brecha sedimentaria, origen relacionado con un flujo gravitacional de alta concentración y alta velocidad. Abundantes testigos de la sedimentación balística del eyecta expelidos desde el impacto de Chicxulub. Belleza natural del paisaje del área y de la propia roca que conforma el lecho del río. Fácil acceso, sobre todo en época de sequía, cuando es posible caminar largo trechos a través de cause (Fig. 2).





- **Protección:** El área está relativamente protegida, pues sus ricos suelos son utilizados principalmente en el cultivo del café, y el río solo padece de una baja contaminación. No se le ha designado con ninguna categoría patrimonial.
- **Uso:** Científico, docente, patrimonial y turístico especializado.
- **Amenaza:** Relativamente baja, contaminación de las aguas del río, recubrimiento ocasional por acumulación de sedimentos, derrumbes o deslizamientos parciales de laderas. El corte donde está expuesta la base de la secuencia, que se encuentra a un lado de la carretera, es vulnerable a los derrumbes del talud de la montaña, y a ser cubierto por la vegetación.
- **Fuente:** Kiyokagua *et al.*, 2002; 2002 ; Iturralde-Vinent, *et al.*, 2000.
- **Observaciones:** La localidad del "Caserío Los Tumbos" se propone como localidad cotipo, por presentar rasgos sedimentológicos particulares, y además, allí se puede aflorar en el lecho del río la base de la secuencia. (Hoja Topográfica 3584-II, Coordenadas: X = 284 950; Y = 332 250).

### **LKT-3 "Cantera Peñalver"**

- **Ubicación:** Cantera abandonada cerca de la localidad tipo de la formación, en la intersección de la Monumental y la Carretera al Poblado de Peñalver, este de Ciudad de La Habana.
- **Hoja Topográfica** 3884-II, **Coordenadas:** X = 372 500; Y = 363 500
- **Municipio:** Habana del Este **Provincia:** Ciudad de La Habana
- **Unidad:** Fm. Peñalver (Brönnimann, P. y D. Rigassi, 1963).
- **Descripción:** En la localidad tipo de la Formación Peñalver, esta unidad tiene un espesor de aproximadamente 180 m. Aquí fue posible subdividirla en cinco miembros: Miembros Basal, Inferior, Medio, Superior y Alto, basados en su litología. El Miembro Basal consiste de calciruditas masivas, pobremente seleccionada, con una matriz granosoportada, que contiene macrofósiles abundante de origen marino poco profundo, e intraclastos grande ocasionales de los estratos subyacentes, de la Fm. Vía Blanca y de las rocas del substrato volcánico. Del Miembro Inferior al Miembro Superior consiste en calcarenitas masivas y calcilutitas con afinamiento del grano hacia arriba. La composición de las calcarenitas es diferente de la del Miembro Basal. La apariencia homogénea, gradación gruesa normal, presencia de abundantes estructura de escape de agua y los abundantes los fósiles resedimentados y reelaborados que contienen el resto de los miembros, son comparables a aquellos de la "homogenite" mediterránea, un depósito de mar profundo inducido por un tsunami, que se formó por la deposición a partir de una suspensión de densidad alta. La repetición de capas delgadas de conglomerado en el Miembro Inferior, que contiene clastos arcillosos bien seleccionados, redondeados, con fósiles marinos de aguas someras, se considera que reflejan el flujo lateral intermitente, posiblemente inducido por una serie de olas de tsunamis, durante una fase temprana de deposición de los granos provenientes de una suspensión de densidad alta. Vidrio vesicular alterado de probable origen de impacto ha sido descubierto en el Miembro Basal, y el cuarzo de choque desde el Miembro Inferior a los Miembros Superiores. Junto con la delimitación bioestratigráficamente de la edad de la Formación de Peñalver, estas evidencias sugieren que esta unidad tiene una relación genética con el impacto de K/T. La distribución del vidrio vesicular alterado y los granos de cuarzo de choque pueden explicar la sucesión del flujo de granos inicial y las olas del tsunami subsiguientes.
- **Valores:** Localidad Cotipo (¿?) de la unidad, complementaria por su situación espacial casi contigua a la localidad tipo. Sección de gran potencia (180 m), en la misma se puede estudiar la secuencia completa de la unidad con todos sus miembros incluidos, desde su contacto basal con la Fm. Vía Blanca. Llamativas y variadas estructuras de escape de agua. Fácil acceso. La parte inundada de la cantera es usada por bañistas ocasionales (Fig. 3).



Figura 3. Vista de la secuencia de la homogenita de la Fm. Peñalver en la cantera del mismo nombre.

- Protección: Cantera abandonada, donde podría limitarse el acceso al ala oeste, para no dañar el corte mejor estudiado y más completo.
- Uso: Científico, docente, patrimonial y turístico especializado.
- Amenaza: Relativamente baja, recubrimiento ocasional por derrumbes o deslizamientos parciales del talud, y de ser ocasionalmente cubierta por la vegetación. Existen residuos de antiguos vertedero. Ya existen construcciones ilegales sobre el contacto con la Fm. Vía Blanca en la localidad tipo, que no deben extenderse.
- Fuente: Takayama *et al.*, 2000 ; Iturralde-Vinent, *et al.*, 2000; Tada *et al.*, 2004; Goto *et al.*, 2005
- Observaciones: Como localidades contipo se propone a la Cantera de Minas (Hoja topográfica 3785-II, Coordenadas: X = 367 600; Y = 365 400).

#### **LKT-4 "Santa Isabel"**

- Ubicación: Cantera abandonada cerca de la localidad tipo de la formación, en la intersección de la Monumental y la Carretera al Poblado de Peñalver, este de Ciudad de La Habana.
- Hoja Topográfica 3684-III, Coordenadas: X = 307 850 ; Y = 349 400
- Municipio: Cabaña      Provincia: Pinar del Río
- Unidad: Fm. Peñalver
- Descripción: En la localidad se encuentra en una elevación baja formada por la secuencia completa de la Formación Peñalver, con un espesor aproximado de 80 m. Aquí se destaca por su composición el miembro Basal de la unidad, el cual contiene abundantes bloques métricos arrancados de la Fm. Vía Blanca infrayacente, y dentro del material clástico predominan los bioclastos grandes de fauna





marina bentónica de aguas someras, como los rudistas y foraminíferos orbitoidales grandes. Se observan varias superficies de paleocanales y repetidos niveles de microconglomerados. También estratificación cruzada y paralela. Llama la atención la particular ritmicidad que se manifiesta en la parte alta de la sección, entre lutitas gris oscuras y lutitas carbonatadas más claras (Fig. 4).



Figura 4 Afloramiento de la sección del LKT en Santa Isabel. Moldes de intraclastos (arriba) entre conglomerado calcareo (detalle debajo) en el miembro basal de la Fm. Peñalver en la localidad.

- **Valores:** Localidad Cotipo (¿?) de la unidad, complementaria por su particulares rasgos sedimentológicos, asociados a un depósito típico del LKT pero de aguas relativamente someras. Muestra la ocurrencia de trenes de tsunamis, y de paleocorreientes originados probablemente por el llenado del cráter de Chicxulub. Alto contenido de macrofauna bentónica identificable y demás indicios del eyecta (Fig. 4).
- **Protección:** Pequeña cantera parcialmente abandonada, donde existen otras parecidas. Se encuentra en un área rural visible, bien aflorada. Acceso aceptable, a través de un terraplén.
- **Uso:** Científico, docente, patrimonial y turístico especializado.
- **Amenaza:** Relativamente alta, pues este afloramiento artificial se ha formado producto de la extraen de material con fines constructivos. Puede ser ocasionalmente cubierta por la vegetación, ya que se encuentra en un suelo dedicado al cultivo de la caña de azúcar.
- **Fuente:** Tada *et al.* 2004; Iturralde-Vinent, *et al.*, 2000; Rojas 2000a y b; Goto *et al.*, 2002; Molina *et al.*, 2002; Goto *et al.* (en prensa).

#### **LKT-5 "Cantera Victoria I"**

- **Ubicación:** Cantera abandonada cerca de la localidad tipo de la formación, en la intersección de la Monumental y la Carretera al Poblado de Peñalver, este de Ciudad de La Habana.







Figura 5 Megaclasto volcado en el Miembro Inferior de Fm. Peñalver en la Cantera Victoria I. (ver fecha amarilla).

- Hoja Topográfica 3785-II, Coordenadas: X = 378 432; Y = 359 992
- Municipio: Habana del Este Provincia: Ciudad de La Habana
- Unidad: Fm. Peñalver
- Descripción: Amplia cantera donde principalmente se observa el Miembro Inferior de de la Fm, Peñalver, constituido microconglomerado calcáreo, pero con un aporte destacado de material vulcanomíctico redondeado y bastante seleccionado. Es muy notable la presencia de megaintraclastos de hasta más de 10 m de paquetes completos de la Fm. Vía Blanca infrayacente. Uno de estos megaclastos, en posición invertida, están compuestos por una arcillosa-arenosa, carbonosa, de color oscuro, y contiene capas de arenisca con abundantes conchas de bivalvos y gasterópodos de diferentes especies, además ripios de plantas diseminados en las areniscas y las arcillas o lutitas.

En otros sitios se observan capas turbidíticas con abundantes foraminíferos orbitoidales grandes. Hacia la parte sur también se pueden observar los niveles medios a superior de la secuencia general de la unidad (Fig. 5 y 6).

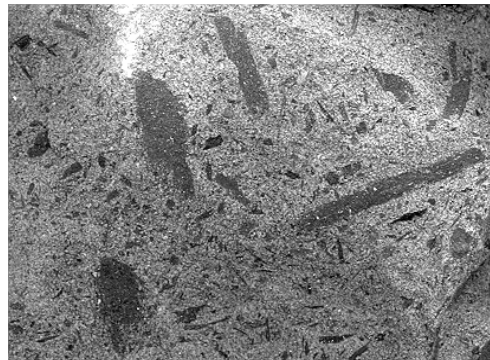


Figura 6 Moluscos bivalvos (orden Arcoida) y ripios de vegetales carbonizados procedentes de la secuencia que forma el megabloque volcado en Victoria I.

- Valores: Facies únicas del Miembro Inferior de la unidad, según su composición. Presencia de fauna del Cretácico Superior no conocidas en otra localidad. Excelente aflorabilidad. Acceso aceptable, a través de terraplén.
- Protección: Partes abandonadas de la cantera que podrían preservarse.
- Uso: Científico, docente, turismo especializado.



Figura 7 Contacto tectónico entre una facies clástico-carbonatada y otra acillo-lutítica (isquierda), y nivel de intraclastos (derecha) en la Fm. Peñalver en Victoria II.

- **Amenaza:** Ampliación de la cantera hacia el oeste, recubrimiento por deposición de material extraído no utilizable.
- **Fuente:** Tada *et al.* 2004; Rojas *et al.*, 2004; Goto *et al.*, 2005.
- **Observaciones:** Se propone a la secuencia que aflora en la cantera Victoria II (Hoja topográfica 378-II, X = 376 450; Y = 359 851) como cotipo para la unidad, aun cuando su protección es incierta actualmente, pues ese objetivo se encuentra en explotación (Fig. 7 y 8).

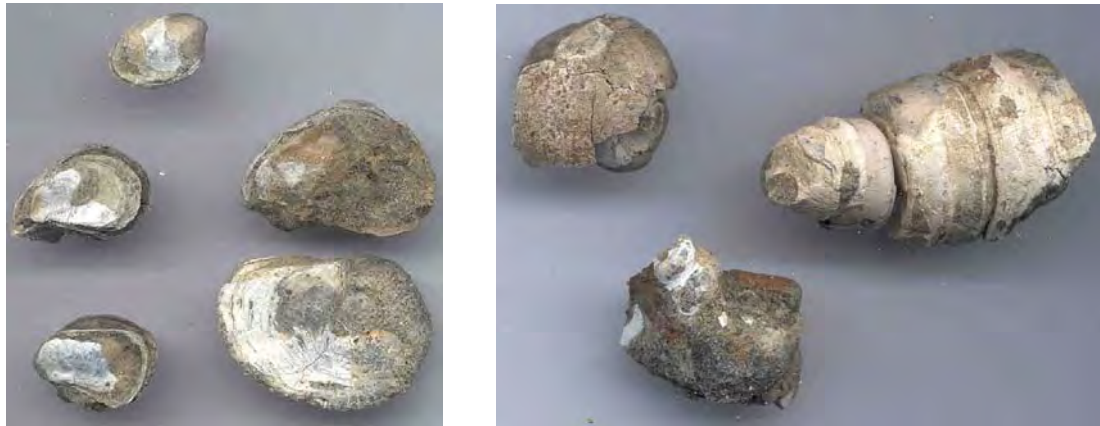


Figura 8 Moluscos bivalvos contenidos en las facies acillo-lutíticas en la cantera Victoria II. Ostreidos (isquierda) y Mesogasterópodos (posiblemente cercanos a los Nerinéidos, Natícidos y Turritélidos).

#### **LKT-6 “Cantera de Cidra”**

- **Ubicación:** Cantera abandonada cerca del poblado de Jesús María, al oeste de Cidra.
- **Hoja Topográfica:** 3884-I, **Coordenadas:** X = 438 000; Y = 344 000
- **Municipio:** Cidra **Provincia:** Matanzas
- **Unidad:** Fm. Peñalver
- **Descripción:** Podría ser una localidad cotipo de la Fm. Peñalver. Es una amplia cantera abandonada, cercana a al poblado de Jesús María. Aflora la secuencia casi completa de la unidad, desde su contacto erosional con la F. Vía Blanca, infrayacente, hasta el Miembro Superior de calcilitas. Es una sección intermedia entre el corte de la localidad tipo y el de Santa Isabel, según sus características de deposición y potencia (80 m).
- **Valores:** Único corte de excelente exposición de esta unidad en la provincia de Matanzas. Se destaca la presencia de estructuras de escape de agua (pilares, conos y volcanes), y la abundancia relativa, respecto a las demás secciones, de fragmentos carbonizados laminares. Excelente aflorabilidad. Acceso bueno, por carretera.
- **Protección:** Potencial para su conservación pues el área está dedicada a la ganadería.
- **Uso:** Científico, docente, turismo especializado.
- **Amenaza:** Reactivación ocasional de la cantera. Cubrimiento por vegetación, potencialmente de marabú. Pérdida de la carretera de entrada a la cantera debido a la vegetación.
- **Fuente:** Tada *et al.* 2004; Goto *et al.*, 2004, 2005.

#### **LKT-7 “Loma Capiro”**

- **Ubicación:** Raspado artificial en la vertiente sur de Loma Dos Hermanas, en la parte este de Loma Capiro, en la parte este de la ciudad de Santa Clara.
- **Hoja Topográfica** 4283-III, **Coordenadas:** X = 608 000 Y = 287 000



- Municipio: Santa Clara    Provincia: Villa Clara
- Unidad: Fm. Santa Clara
- Descripción: Amplio corte del Maastrichtiano Superior, donde en la parte alta se destaca la secuencia del LKT. En la base del depósito aparece una brecha basal de composición variada, caótica, con predominio de los clastos de rocas procedentes de la Asociación Ofiolítica, hacia arriba



transiciona a microconglomerados, y seguidamente a areniscas y limos en la parte alta. Se cubre por margas y lutitas amarillentas a carmelitas del Paleoceno basal, Daniano. En el depósito parece abundante material del eyecta del impacto: cuarzo de choque, microesférulas vesicular, lapilli acrecionario y cóndrulos líticos terrestres (Fig. 9 y 10).

Figura 9 Vista general del corte en Loma Dos Hermanas (Loma Capiro) donde aflora la sección del LKT.

- Valores: Aparecen elementos del eyecta únicamente descritos para esta localidades en los depósitos del LKT en Cuba, como son el lapillo y los cóndrulos terrestres. La excelente preservación de la abundante microfauna, tanto del Cretácico tardío como del Paleógeno temprano, permitió elaborar la biozonación más refinada con foraminíferos planctónicos que se conoce para Cuba. Excelente aflorabilidad. Acceso bueno. Situación en área urbana.
- Protección: Pude protegerse el depósito completo que sólo presenta unos 10 m de espesor. Interés local en su protección. Lugar destacado como accidente geográfico peculiar en la ciudad. Cercanía de monumentos de importancia histórica.
- Uso: Científico, docente, turismo especializado.



- **Amenaza:** Ampliación de obras constructivas, recubrimiento por deposición de material extraído otras áreas, erosión eventual, extracción de material por parte de los pobladores locales. Prohibición de acceso por intereses administrativos.
  - **Fuente:** Alegret *et al.* 2005a y b; Rojas-Consuegra y Díaz-Otero, 2004; Rojas *et al.*, 2005.
- Como colofón se debe agregar, que aún varias localidades de la región central y oriental de Cuba restan por ser investigadas en detalle, por lo cual es de esperar que la presente propuesta se incremente en un futuro, pues las investigaciones sobre la temática continúan en la actualidad. También seguro nuevos datos, a partir de distintos enfoques sobre el objeto de estudio, enriquezcan la presente propuesta.



Figura 10 *Slump* en la base del depósito del LKT en Loma Capiro (izquierda), y limos del Cretácico (derecha, tono más claro) cubiertos por lutitas del Paleoceno.

Como colofón se debe agregar, que aún varias localidades de la región central y oriental de Cuba restan por ser investigadas en detalle, por lo cual es de esperar que la presente propuesta se incremente en un futuro, pues las investigaciones sobre la temática continúan en la actualidad. También seguro nuevos datos, a partir de distintos enfoques sobre el objeto de estudio, enriquezcan la presente propuesta.

## CONCLUSIONES

Las secciones estratigráficas documentadas en detalle son testigos de carácter único e irreplicable en el registro geológico del LKT cubano, y constituyen la prueba de los resultados publicados hasta el momento en órganos de reconocido impacto para las geociencias a nivel mundial. Todo lo anterior avala la protección y conservación de las “localidades tipo del LKT” en nuestro territorio, asumido como deber ético y social ineludibles; aun más en la actualidad cuando se gana conciencia en el reconocimiento de la herencia de la Tierra, como elemento basal del medioambiente.

## BIBLIOGRAFIA

- Alegret L., Arenillas I., Arz J.A. Díaz C., Grajales M., Meléndez A., Molina E., Rojas R. y Soria A.R. (2005) New Cretaceous/Paleogene boundary section in Central Cuba: evidence for the Chicxulub impact. Comunicación póster. General Assembly. European Geosciences Union. Viena (Austria). 24-29/04/2005. Internacional.
- Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J. A., Díaz, C., Grajales, M., Meléndez, A., Molina, E., Rojas, R. and Soria, A. R. (2005) Cretaceous / Paleogene (K/Pg) Boundary deposits in Central Cuba: new multidisciplinary evidence for a K / Pg impact origin. *Geology* (en preparación).
- Brönnimann, P. y D. Rigassi (1963) Referencia original: Contribution to the geology and paleontology of the area of the city of La Habana, Cuba and its surroundings. *Eclog. Geol. Helv.*, 56(1):193-430.



- Brönnimann, P., Rigassi, D., 1963, Contribution to geology and paleontology of area of the city of La Habana, Cuba, and its surroundings. *Eclogae Geologicae Helveticae*, v. 56, p. 193-480.
- CNAP (2000) Marco Legal Sistema de Reservas Protegidas, Cuba. C. de La Habana. p. 1-46.
- Díaz Otero, C., Iturralde-Vinent, M., Delgado, D. E. (2000) The Cretaceous-Tertiary boundary "Cocktail" in western Cuba, Greater Antilles. *LPI Contribution No. 1053*, : 76-77.
- García-Delgado, D.; R. Rojas-Consuegra; C. Díaz-Otero; R. Tada and M. Iturralde-Vinent (2001) Field trip guide to the Cretaceous-Tertiary Boundary in western Cuba. IV Congreso Cubano de Geología y Minería. GEOMIN '2001, La Habana, Marzo 17-18. 21pp.
- Goto, K., R. Tada, E. Tajika, M. A. Iturralde-Vinent, T. Matsui, S. Yamamoto, Y. Nakano, Tatsuo-Oji, S. Kiyokawa, D. E. García-Delgado, C. Díaz-Otero, R. Rojas Consuegra (2005) A giant deep-sea tsunami deposit at the Cretaceous/Tertiary boundary in northwestern Cuba. (en prensa).
- Goto, K., R. Tada, E. Tajika, M. A. Iturralde-Vinent, T. Matsui, S. Yamamoto, Y. Nakano, T. Oji, S. Kiyokawa, D. García, C. Otero, R. Rojas (2005) Compositional and grain size oscillations reflecting repeated tsunami in the Cretaceous/Tertiary deep-sea deposit in northwestern Cuba. *Sedimentology* (en prensa).
- Goto, K., Tajika, E., Tada, R., Iturralde-Vinent M. A., Kiyokawa, S., Nakano, Y., Yamamoto, S., García, D., Oji, T., Rojas, R., Takayama, H., Matsui, T. (2001) Structure and origin of the Peñalver Formation: K/T boundary mega-deposit in northern Cuba., *Lunar and Planetary Science*, v. 32, abs. 1604.
- Hatten, C. W. (1957) Geology of the central Sierra de los Organos, Pinar del Río province, Cuba. Centro Nac. Fondo Geol., Minist. Indust. Bas., La Habana (inédito).
- Iturralde-Vinent, M., D. García-Delgado, C. Díaz-Otero, R. Rojas-Consuegra, R. Tada, H. Takayama, S. Kiyokawa (2000) The K/T Boundary Impact layer in Cuba: Update of an International Project. Abstract of the Intern.Confer. on Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond. July 9-12, 2000. University of Viena, Austria. *LPD Contribution No. 1053:76-77*
- Iturralde-Vinent, M. (1992) A short note on the Cuban late Maastrichtian megaturbidite (an impact-derived deposit?): *Earth and Planetary Science Letters*, v. 109 p. 225-228.
- Iturralde-Vinent, M. (1995) Field Guide: Sedimentary Geology of Western Cuba. *Linked Earth Systems. The 1st SEPM congress on Sedimentary Geology*. p. 1-21.
- Iturralde-Vinent, M., D. E. García-Delgado, C. Díaz-Otero, R. Rojas-Consuegra, R. Tada, H. Takayama, and S. Kiyokawa (2000) The K/T boundary impact layer in lithostratigraphy, facies development and paleogeography: *Acta Geologica Polonica*, v. 28, no. 1, p. 1-96.
- Kiyokawa, S., R. Tada, M. Iturralde-Vinent, T. Matsui, K. Tajika, S. Yamamoto, T. Oji, T. Nakano, K. Goto, H. Takayama, D. García, C. Díaz, R. Rojas (2002) Cretaceous-Tertiary boundary sequence in the Cacarajicara Formation, western Cuba: An impact-related high-energy, gravity flow deposit. In Koeberl, C., and MacLeon, K.G., eds. *Catastrophic events and mass extinctions: Impacts and Beyond*: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 356:125-144.
- Kiyokawa, S., R. Tada, T. Oji, E. Tajika, Y. Nakano, K. Goto, S. Yamamoto, R. Rojas, D. García, M. A. Iturralde-Vinent, and T. Matsui (2000) More than 500m thick k/t boundary sequence; Cacarajicara Formation, Western Cuba. Impact related giant flow deposit. Abstract of the Intern.Confer. on Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond. July 9-12, 2000. University of Viena, Austria. *LPD Contribution No. 1053:100-101*.
- Molina, E., I. Arenillas, J.A. Arz, C. Díaz, D. García, A. Meléndez y R. Rojas (2002) Micropaleontología, Cronoestratigrafía y Sedimentología del límite Cretácico/Terciario en el NO de Cuba. *GEOGACETA* 32:281-284.
- Pszczolkowski, A. (1986) Megacapas del Maastrichtiano en Cuba occidental y central. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Earth Science*. v. 34, n. 1, p. 81-94.
- Pszczolkowski, A., García Delgado, D. E., Pérez E. (1992) Late Maastrichtian foraminifers, glass fragments and evidence for violent erosion near K/T boundary in Western Cuba. *Resúmenes de la 13 Conferencia del Caribe*, p. 127.
- Rojas-Consuegra, R. (2000) El límite Cretácico/Terciario en la Formación Peñalver (Cuba Occidental): observaciones tafonómicas, paleoecológicas y paleogeográficas. V Congreso Geológico de España. Julio, 2000. *Rev. Geotemas* 1(2): 355 - 358
- Rojas-Consuegra, R. (2000) Taphonomic and Palaeological observations on the Peñalver Formation, Western Cuba. Abstract of the Intern.Confer. on Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond. July 9-12, 2000. University of Viena, Austria. *LPD Contribution No. 1053:183-184*
- Rojas-Consuegra, R., C. Díaz-Otero, D. García-Delgado y M. Iturralde-Vinent (2004) Informe final del proyecto "Límite KT en Cuba". (PNAP, Cod. 035). Agencia de Medio Ambiente (CITMA). Ciudad de La Habana / 2004. (CD, inédito).





- Rojas-Consuegra, R., Consuelo Díaz-Otero (2004) Amplias pruebas en Cuba del impacto meteorítico que mató a los Dinosaurios. Boletín de la Sociedad Cubana de Geología. Sección Técnica, 2 (3): 14-15.
- Rojas-Consuegra, R., M. A. Iturralde-Vinent, C. Díaz-Otero y D. García-Delgado (2005) Significación paleogeográfica de la brecha basal del Límite K/T en Loma Dos Hermanas (Loma Capiro), en Santa Clara, provincia de Villa Clara. Memorias, I Convención sobre Ciencias de La Tierra / 2005 (presente volumen).
- Tada, R., M. A. Iturralde-Vinent., T. Matsui., E. Tajika., T. Oji., K. Goto., Y. Nakano., H. Takayama., S. Yamamoto., S. Kiyokawa., K. Toyoda., D. Garcia-Delgado., C. Diaz-Otero., R. Rojas-Consuegra (2004) K/T boundary deposit in the proto-Caribbean basin. American Association of Petroleum, Geologists Memoir, 79: 582-604.
- Tada, R., Y. Nakano, M.A. Iturralde-Vinent, S. Yamamoto, T. Kamada, E. Tajika, K. Toyoda, S. Kiyokawa, D. Garcia Delgado, T. Oji, K. Goto, H. Takayama, R. Rojas, T. Matsui (2002) Complex tsunami waves suggested by the Cretaceous-Tertiary boundary deposit at the Moncada section, western Cuba. In Koeberl, C., and MacLeon, K.G., eds. Catastrophic events and mass extinctions: Impacts and Beyond: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 356:109-123.
- Takayama. H., Tada. R., Matsui. T., M.A. Iturralde-Vinent., Oji. T., Tajika. E., Kiyokawa. S., Garcia. D., Okada. H., Hasegawa. T., Toyoda. K. (1999) Origin of a giant event deposit in northwestern Cuba and its relation to K/T boundary impact. Lunar and Planetary Science. v. 30, abs. 1534.
- Takayama. H., Tada. R., Matsui. T., M.A. Iturralde-Vinent., Oji. T., Tajika. E., Kiyokawa. S., Garcia. D., Okada. H., Hasegawa. T., Toyoda. K. (2000) Origin of the Peñalver Formation in northwestern Cuba and its relation to K/T boundary impact event. Sedimentary Geology, 135: 295-320.





## **CIERRE, REHABILITACION DE AREAS DEGRADADAS POR LA MINERIA DE “EL COBRE” Y CONSERVACION DEL PATRIMONIO Y CULTURA MINERA DE LA REGION.**

**Carlos César Cañete Pérez.**

Oficina Nacional de Recursos Minerales. Salvador Allende # 666, Centro Habana, Ciudad de la Habana, Cuba; C. Electrónico: carlos@onrm.minbas.cu

### **RESUMEN.**

Por ser “El Cobre” la mina de Cobre más antigua de América, por estar enclavada a muy poca distancia del Santuario Nacional de la Virgen de la Caridad “Patrona de Cuba” y muy cerca del conjunto escultórico “El Cimarrón”, que forma parte de la “Ruta del Esclavo en el Caribe”; sus intereses patrimoniales, religiosos y turísticos constituyen una responsabilidad social. Los impactos ambientales provocados, debido a que fue mayormente explotada antes de la promulgación de la legislación minera actual y que la Empresa Geominera Oriente, responsabilizada con las obligaciones de cierre, no cuenta con los recursos financieros y técnicos para enfrentar éste complejo y altamente costoso proceso, la ONRM confeccionó este Proyecto Marco que esta conformado a su vez por siete subproyectos confeccionados por la Empresa Geominera Oriente para iniciar la búsqueda fuentes de financiamiento nacional e internacional.

Los resultados esperados del proyecto son:

- Evaluación del sitio para su utilización con fines educacionales y geoturísticos.
- Elaboración del Plan de Manejo, Gestión y de educación ambiental.
- Salvaguardia del patrimonio, cultura y tradiciones geólogo-mineras.
- Lograr una correcta rehabilitación del medioambiente.
- Darle empleo a trabajadores de la mina para mantener sus niveles de vida actuales.
- Mejorar la calidad de vida de la población del área afectada.
- Capacitar a los trabajadores para enfrentar las nuevas tareas.

El número aproximado de potenciales beneficiarios del proyecto será de aproximadamente 16 790 personas. En la exposición del trabajo se exponen fotos que muestran la actual situación de la región.

### **ABSTRACT.**

For been "El Cobre" the oldest copper mine in America, for been located at very short distance of the National Sanctuary of the "Virgen de la Caridad," and very near of the sculptural group "El Cimarrón" that forms part of the Slave's Route in the Caribbean", the provoked environmental impacts, because it was mostly exploded before the promulgation of the current legislation and because the "Empresa Geominera Oriente", to the one that had been transferred the closing obligations, doesn't have the financial and technicians resources to face this complex and highly expensive process, the ONRM made this Marco Project it is conformed by seven subprojects made by "Geominera Oriente" for the search of national and International financing.

The prospective results of the project are:

- Evaluation of the place for their use in educational and geotouristics purposes
- Elaboration of the Handling Plan, Administration and Environmental Education.
- Safeguard of the patrimony, culture and geologist-mining traditions.
- To achieve a correct rehabilitation of the environment.
- To open labor capacities for mine workers to maintain their current levels of life.
- To improve the life quality of the population's of the affected area.
- To qualify the workers to face the new tasks.

The approximate number of potential beneficiaries of the project will be of approximately 16 793 persons. During the exhibition of the work, the pictures of the situation of the region will be shown.

## INTRODUCCIÓN.

La Constitución de la República de Cuba, aprobada por referendo público en 1976, en su artículo 27 postula, que el Estado protege al medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras (Constitución de la República).

En Cuba la conciencia ambiental ciudadana, empresarial y política está creciendo y en la actualidad es muy fuerte, cada vez existen más leyes, reglamentaciones y normas ambientales que deben ser cumplidas por las empresas, la comunidad, etc.

Los procesos mineros, al igual que cualquier otro proceso productivo, generan impactos sobre el Medio Ambiente que son producidos durante todas las fases de la actividad minera, desde la exploración hasta después del cierre o abandono.

Los Programas de Rehabilitación de las áreas minadas se llevan a cabo por un proyecto que es compatibilizado con los diferentes organismos y de acuerdo con la comunidad, el gobierno y el Plan Director Territorial, se decide el uso futuro del área minada, que puede ser: social, forestal, agrícola, ganadero, etc. y es presentado al CITMA para la obtención de la Licencia ambiental correspondiente.

La Ley 76. Ley de Minas, publicada en la Gaceta Oficial de la República en Enero de 1995, en su articulado faculta a la Oficina Nacional Recursos Minerales (ONRM), como Autoridad Minera a controlar la minería y la ejecución de sus planes de protección del medio ambiente, de las medidas para mitigar el impacto ambiental y los planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar el impacto derivado de sus actividades.

La ONRM, como Autoridad Minera del país, ejerce el control de la situación ambiental y del cumplimiento de los Planes de Protección y de rehabilitación del Medio Ambiente de las empresas mineras, a través de las Inspecciones Estatales y por contactos permanentes con los representantes para el Medio Ambiente de las empresas Titulares de Derechos Mineros.

El cierre definitivo de la mina "El Cobre" se hace una necesidad teniendo en cuenta el agotamiento de sus reservas explotables a cielo abierto y resulta económicamente no viable la minería subterránea.

El proyecto consiste en el cierre, rehabilitación de las áreas degradadas por la minería y la conservación del patrimonio y cultura minera de la región, garantizándose con ello su desarrollo sostenible, por lo que ayudaría a solucionar los problemas existentes en la región y posee los siguientes objetivos:

- ◆ Realización de investigaciones sobre el medio ambiente natural y socioeconómico.
- ◆ Evaluación de características de la mina a cielo abierta para su utilización con fines educativos y geoturísticos.
- ◆ Evaluación de las posibilidades de declaración del sitio como Monumento Nacional y/o Internacional, Museo y Cantera Escuela.

- ♦ Darle empleo a un grupo de antiguos trabajadores de la mina para el mantenimiento de sus niveles de vida actuales en talleres productores de artesanías vinculadas con las tradiciones de la localidad.
- ♦ Eliminación de fuentes contaminantes.
- ♦ Desmantelamiento total y sellado de las galerías subterráneas no utilizables.
- ♦ Evaluación de la Planta de Beneficio como Patrimonio Industrial y/o desmantelamiento total
- ♦ Desmantelamiento de edificaciones no utilizables.
- ♦ Rehabilitación de las áreas afectadas por la minería (instalaciones, presa de relaves, escombreras, etc.).

Este Proyecto Marco está conformado por lo siguientes subproyectos confeccionados por la Empresa Geominera Oriente:

- ♦ Rehabilitación y Ambientación de los Accesos a la Mina.
- ♦ Evaluación de generación de drenaje ácido y Rehabilitación de las Escombreras de la Cantera El Cobre.
- ♦ Caracterización Dinámica de las Aguas de la Cantera El Cobre.
- ♦ Evaluación de generación de drenaje ácido y Rehabilitación de los Depósitos Depósito de Colas de la Mina El Cobre.
- ♦ Rehabilitación de Taludes y Bermas de la Cantera.
- ♦ Sellaje de Pozos y Conservación de las Torres.
- ♦ Museo de la Mina en Galería Subterránea Rehabilitada.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

Desde el siglo XVI la minería fue una de las actividades económicas que primero se desarrolló. Hasta finales de los años 50, el panorama se caracterizaba por la falta de instituciones nacionales que fomentaran el desarrollo minero. A partir de 1959 se desarrollo un programa sistemático que permitió, sobre la base de investigaciones, tener un conocimiento más profundo de los recursos minerales y formar una gran cantidad de profesionales y trabajadores de alta calificación.

El Cobre se encuentra a unos 200 m. del poblado del mismo nombre, a 20 Km. al oeste de la ciudad de Santiago de Cuba, cabecera de la provincia de igual nombre, y a unos 986 Km. de La Habana.

Por ser la Mina de "El Cobre" una de las primeras explotadas en el continente americano (1540) y conocida oficialmente desde 1530, la fundación del poblado data de fecha tan temprana como la primera mitad del siglo XVI a muy pocos años de diferencia de la fundación de la primera villa cubana. No debe olvidarse, que en el Siglo XVI, ya eran tenidas en cuenta estas minas por Intereses Financieros Europeos representando parte del soporte económico de Carlos I de España y V de Alemania y que el mineral de Cobre era tenido muy en cuenta por la industria bélica de la época. También se debe tener en cuenta que apenas un siglo después de su fundación, El Cobre se convirtió en el mayor foco de atracción religiosa popular, relacionado con la Virgen de la Caridad del Cobre, sin lugar a dudas la unidad más influyente en la vida religiosa del pueblo cubano, declarada por el Vaticano en 1916 la Patrona de Cuba, estos factores unidos a la declaración del templo como Santuario Nacional, han hecho del poblado un lugar de importancia religiosa, conocido en gran parte del mundo occidental y donde el mineral de cobre es asociado con tradiciones religiosas y utilizados en producciones artesanales (Gélis

D. B. I.).

En las inmediaciones de la mina se encuentra el conjunto escultórico “El Cimarrón”, que obtiene su nombre de los esclavos fugados de las plantaciones, perseguidos por sus amos, formando asentamientos muy intrincados llamados “Palenques”, el cual forma parte de la Ruta del Esclavo en el Caribe, siendo el sitio testigo de diferentes sublevaciones de esclavos.

Las labores mineras de más de cuatro siglos de “El Cobre” ha conllevado a la contaminación de las aguas superficiales y la amenaza de los recursos hídricos y sus ecosistemas asociados, la atmósfera y la degradación de los suelos impactando al medio ambiente del poblado del mismo nombre, así como de sus áreas circundantes, incluyendo la segunda ciudad en importancia del país, Santiago de Cuba, donde existen problemas de escasez y abastecimiento de agua a la población, por lo que el proyecto ayudaría a solucionarlos.

El Cobre se caracteriza por poseer menas sulfurosas de cobre y en los niveles superiores predominan los minerales oxidados de cobre, carbonatos y silicatos y los más representativos son la azurita, malaquita crisocola y cubanita.

En general, los suelos están muy deteriorados y meteorizados, cubierto en la mayor parte del área (colinas) por pastos sin tratamiento de conservación, los procesos erosivos son intensos, donde hay degradación de la vegetación o carencia de la misma, producto del laboreo minero, lo que ha provocado junto al alto grado de pendiente una aceleración vertiginosa de los procesos erosivos, desapareciendo el suelo rápidamente (en los lugares donde no ha sido sustraído intencionalmente) dando lugar a afloramientos rocosos y en el mejor de los casos a la existencia de un suelo con perfil muy esquelético.

Las barreras orográficas que conforman las alturas circundantes provocan variaciones en las direcciones de los vientos predominando los del NE y SE e impidiendo la entrada de vientos húmedos provenientes del norte escaseando las precipitaciones, por lo que la vegetación tiene muy restringido su aporte hídrico.

La red fluvial del área está representada por el río el Cobre y sus afluentes, cuyos valles se caracterizan por los perfiles en forma de V y cañones ampliamente desarrollados, los cuales ayudados por un gran número de cañadas, evacúan las aguas provenientes de las montañas circundantes, produciéndose en periodos lluviosos inundaciones producto de las grandes avenidas de los ríos por la deforestación y la obstrucción de la confluencia de los ríos Sanserenico y Santo Domingo.

Esta mina fue mayormente explotada antes de la promulgación de las Leyes de Minas y Medio Ambiente, por lo que no cuentan con los recursos financieros para enfrentar el cierre, la rehabilitación del medio ambiente y la conservación del patrimonio y cultura de la región.

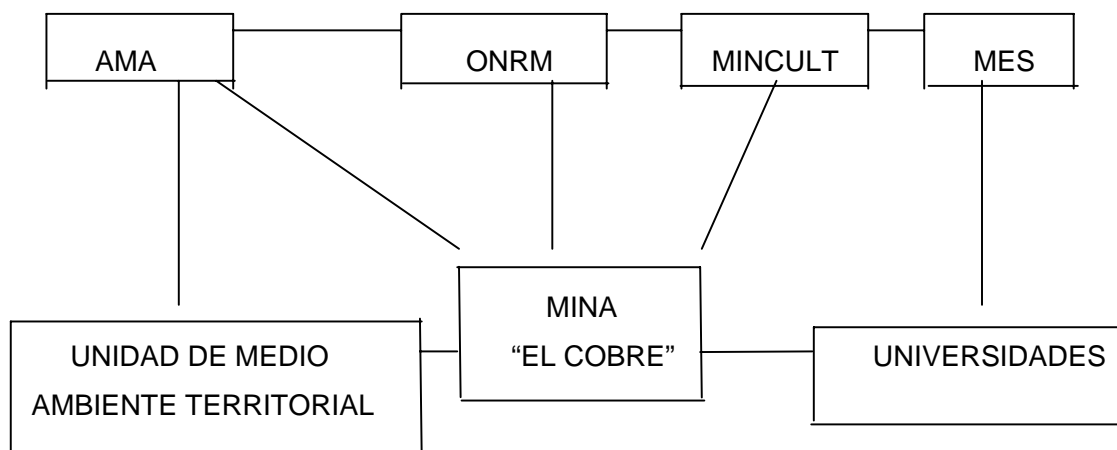
El número aproximado de potenciales beneficiarios del proyecto será de 16 793 personas que residen fundamentalmente en el área de influencia de la mina, los estudiantes de las facultades de geología y minas de las universidades cubanas (Pinar del Río y Moa) que la utilizarían, si es posible, como Cantera Escuela, polígono de prácticas, así como geoturistas interesados en visitar la región.

Las investigaciones principales realizadas son:

- Exploración Geológica de la mina

- Estudios Hidrogeológicos.
- Proyecto de Cierre y rehabilitación de la mina.
- Programa de cierre,
- Diagnóstico ambiental, etc.

Diagrama de instituciones cubanas vinculadas en el proyecto:



La **AMA** (Agencia de Medio Ambiente) y sus Unidades Territoriales son las autoridades medio ambientales que inciden sobre los organismos y entidades.

La **ONRM** (Oficina Nacional de Recursos Minerales) que como Autoridad Minera controla y desarrolla la política de la actividad minera del país.

Al **MINCULT** (Ministerio de Cultura) se subordinan las Unidades Territoriales de Cultura ejemplo: Patrimonio, Bibliotecas Públicas, Museos, Galerías, Proyectos Comunitarios, etc.

Al **MES** (Ministerio de Educación Superior) se subordinan las Facultades de Sociología, Geología y Minas.

**Mina "El Cobre"**, representada por la Empresa Geominera Oriente que asumió las obligaciones con el cierre y otras entidades y organizaciones del territorio (entre las que está el Ministerio de Turismo).

Las instituciones extranjeras que pueden incidir en el Proyecto son: Oficinas Regional de Cultura y Regional de Ciencia y Tecnología de UNESCO para América Latina y el Caribe, Red CYTED, Sociedad Española de Patrimonio, Agencia Española de Cooperación Internacional, etc.

La duración se estima por cuatro años.

El cronograma de actividades es el siguiente:

Actividades	Duración	Secuencia de ejecución			
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Realización de Taller con la participación de especialistas internacionales y especialistas cubanos.	4 días	X			
Rehabilitación y Ambientación de los Accesos a la Mina.	9 meses				X
Rehabilitación de Escombreras.	2,25 años		X	X	X

Caracterización dinámica de las Aguas de la Cantera.	1,2 años	X	X		
Rehabilitación de Depósitos de Colas.	2,1 años		X	X	X
Rehabilitación Bermas y Taludes de la Cantera	1 año			X	
Sellaje de Pozos.	2 meses			X	
Museo de la Mina.	1,2 años			X	X
Evaluación de posibilidades de declaración del sitio como Patrimonio Nacional y/o Internacional.	2 meses				X
Elaboración del Plan de Manejo, Gestión para la Mina Museo y de Educación Ambiental de los residentes.	2 meses				X
Desmantelamiento y/o remodelación de edificaciones.	2 meses				X

El costo total de todos los proyectos es de 1' 370 265.00 USD. **Se solicita un aporte internacional de 221 400.00 USD** y Cuba se compromete a financiar el resto hasta la culminación de todos los proyectos incluyendo recursos técnicos, humanos, materiales y comunicaciones necesarios para la ejecución de todo éste proyecto marco.

## RESULTADOS ESPERADOS.

Los resultados esperados del proyecto son:

- Evaluación del sitio para su utilización con fines educacionales y geoturísticos, y pequeñas explotaciones para los artesanos de carácter religioso y otras que pueden producirse en pequeños talleres.
- Elaboración del Plan de Manejo y Gestión Ambiental para la región en cuestión.
- Salvaguardia del patrimonio, cultura y tradiciones geólogo-mineras, así como de educación ambiental de los habitantes de la región.
- Eliminación de los focos contaminantes de las aguas superficiales, subterráneas y marinas, así como reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera.
- Lograr una correcta rehabilitación del medio ambiente afectado por la actividad minera.
- Darle empleo a un grupo de antiguos trabajadores de la mina para el mantenimiento de sus actuales niveles de vida.
- Mejorar la calidad de vida de la población residente en el área afectada por la explotación minera.
- Capacitar y elevar la preparación de trabajadores directos e indirectos al proyecto para enfrentar las nuevas tareas.

## CONCLUSIONES:

1. Se hace imprescindible el cierre de la mina "El Cobre" tomando en consideración el agotamiento de sus reservas explotables a cielo abierto y económicamente imposible la aplicación de la minería subterránea.
2. Teniendo en cuenta las características de la actividad minera realizada a lo largo de cinco siglos, la abrupta topografía de la zona y los valores patrimoniales y sociales asociados a este sitio se impone un tipo de restauración ambiental y social de un costo tal que no puede





ser enfrentado por la actual Empresa Minera a la que se le transfirieron las obligaciones de cierre, por lo que se requiere de ayuda financiera internacional.

3. Evaluar la posibilidad de declaración del sitio como Patrimonio Nacional e Internacional.

### **BIBLIOGRAFÍA:**

Cañete P. C. C. (2002): *Informe sobre la situación de la rehabilitación de áreas minadas.* Ciudad de

La Habana.

Constitución de la República de Cuba. 1976.

Gélis D. B. I. et al. (1998). *Estudio de Línea Base e Identificación de Impactos Ambientales en el yacimiento "El Cobre".* Archivo ONRM.

Ley 76, Ley de Minas. *Gaceta Oficial de la República de Cuba.* 1994.



## REHABILITACIÓN DE LA MINA EL COBRE, UNA DE LAS MAS VIEJAS DE AMÉRICA LATINA.

**Ing. Alina Yasell Rosales<sup>(1)</sup>**, Ing. Ernesto Stivens Lagart<sup>(1)</sup>, Ing. Amarilis Nuñez Silva<sup>(1)</sup>, Ing. J Carlos Wilson Carcases<sup>(1)</sup>, Ing. Miguel Wilson Soa<sup>(1)</sup>, Ing. Yazmín Rodríguez Pérez<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup>Geominera de Oriente, Carretera Siboney, Km 2.1/2 Alturas de San Juan. Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: [ayasell@geomiera.co.cu](mailto:ayasell@geomiera.co.cu)

### RESUMEN

*Como consecuencia de los trabajos mineros en la mina de El Cobre durante cinco siglos, se produjo la degradación del ecosistema de toda el área que ocupa el campo mineral, lo que repercute negativamente en el entorno ambiental regional.*

*Al hacerse efectivo el cierre de la mina debido a factores Técnicos – Económicos y al estar vigente la Ley de Mina y leyes ambientales es obligatorio la ejecución de la Rehabilitación de las áreas minadas y a la vez lograr la conservación del Patrimonio y Cultura Minera del territorio.*

*Todo esto se lograra a través de un proyecto genérico, el cual abarca de modo efectivo todos los trabajos dedicados para la rehabilitación con aplicación de técnicas adecuadas a este fin y económicamente sustentable.*

*Los trabajos a realizar por cada una de las áreas degradadas son los siguientes:*

- ♦ *Evaluación de potencialidad de Generación de drenaje ácido y Rehabilitación de los depósitos de colas C1, C2 y C4.*
- ♦ *Evaluación de potencialidad de Generación de drenaje ácido y Rehabilitación de Escombreras de la mina.*
- ♦ *Rehabilitación de taludes y bermas de la cantera.*
- ♦ *Sellaje de Pozos y conservación de las torres.*
- ♦ *Rehabilitación y ambientación de los accesos a la mina.*
- ♦ *Caracterización Dinámica de las aguas de la cantera El Cobre.*

### ABSTRACT

As consequence of the mining works in the mine of El Cobre during five centuries, it took place the degradation of the ecosystem of the whole area that occupies the mineral field, what rebounds negatively in the regional environmental whereabouts.

When becoming effective the closing of the mine due to technical and economic factors and when being effective the Law of Mine and environmental laws are obligatory the execution of the rehabilitation of the mined areas and at the same time the achievement of the conservation of the patrimony and mining culture of the territory. All this was achieved through a generic project, which embraces in an effective way all the works dedicated for the rehabilitation with application of techniques adapted to this end and economically sustainable.

The works to carry out for each one of the degraded areas are the following ones:

- Evaluation of potentiality of sour drainage and Rehabilitación of the deposits of lines C1, C2 and C4.
- Evaluation of potentiality of sour drainage and Rehabilitación of overburden piles of the mine.
- Rehabilitation of banks and borders of the quarry.
- Drilling hole realing and torres conservation.
- Rehabilitación and atmosphere of the accesses to the mine.
- Dynamic caracterizacion of El cobre quarry waters.



## INTRODUCCION.

La minería del cobre es una de las más antiguas en el país y América Latina. La explotación de la mina El Cobre comenzó desde 1540 y cerró sus operaciones en el año 2001, continuando la rehabilitación total en el terreno minado.

La actividad minera, en sentido general es una actividad modificadora del medio ambiente, a causa de las actividades extractivas, constituyendo un uso temporal del suelo y si no existe una restauración posterior, las superficies abandonadas quedan en una situación de degradación sin posibilidades reales de aprovechamiento por otros tipos de actividades.

En este proyecto se asume la rehabilitación desde un enfoque remedial con la realización de trabajos de reacondicionamiento del terreno, la reforestación y la disminución o eliminación de la contaminación, en los focos revelados en un reconocimiento ambiental realizado hacia tal fin.

## RESULTADOS ESPERADOS.

- Recuperar los suelos degradados por la minería.
- Recuperación de la flora y fauna del área.
- Modificación del paisaje.
- Reforestación de las áreas con vista a la eliminación del polvo.
- Protección de la cantera, la cortina y talud de los depósitos.

## DISCUSIÓN.

El objetivo de este trabajo es la Rehabilitación de las áreas degradadas por la explotación de la mina a cielo abierto "El Cobre". La rehabilitación pretende a partir de la valoración de los daños existentes en el medio ambiente, proponer la ejecución de medidas técnicas que permitan la mitigación de los mismos con un carácter fundamentalmente remedial y logrando en las nuevas condiciones un uso mejorado del terreno en concordancia con un medio ambiente más sano y racional. Pretende la mejora ambiental y paisajística del área y satisfacer la demanda social de disponer de lugares más saludables.

La mina El Cobre se ubica a 15 km al NW de la ciudad de Santiago de Cuba en la provincia de igual nombre. La mina esta rodeada por el poblado de El Cobre, en la zona Norte y Oeste de la cantera. El poblado es conocido además de la mina por el Santuario de la Virgen de la Caridad del Cobre.

El yacimiento que da asiento a la mina se ubica entre las coordenadas Lambert siguientes:

X: 152 000 – 156 000  
Y: 590 000 – 597 000

## Situación del medio biótico local.

- Flora.



La vegetación local es poco abundante. La mayor parte esta atravesada por matorrales y pastos con aislados parches de vegetación más densa casi siempre asociados a las partes más altas o a los bordes de las corrientes de aguas locales. Dentro de los arbustos se destaca el marabú, el cuál forma en ocasiones manchas o parches de gran densidad y desarrollo. Los árboles son de tipos muy diversos pero predominan el marañón, mango, guásima, palmas, etc. En algunas áreas se comienza a destacar la leucaena (ipil-ipil) el cuál va invadiendo paulatinamente, desplazando incluso al marabú en el matorral.

- **Fauna.**

No posee una fuerte expresión pero se destacan las aves como las palomas aliblanca, rabiche y torcaza, el sinsonte, carpintero jabao, etc. En las partes más intrincadas del matorral se encuentran algunas especies de jutías pero de forma muy limitada.

### **Situación del Medio Antrópico.**

- **Población.**

La población local se asienta fundamentalmente en el poblado de El Cobre. Los datos de población arrojan una cifra de más de 16 692 habitantes, con un índice de habitabilidad de aproximadamente 4 habitantes por vivienda. La mayoría de las viviendas son de madera o mampostería con techos predominante de zinc o tejas con un estado regular. Una parte importante de las viviendas se ubican a escasa distancia de la cantera e instalaciones mineras.

El poblado posee una electrificación alta, cercana al 100% con servicios de agua y alcantarillado para una parte importante del mismo.

El poblado posee una importante tradición religiosa, el Santuario local de la Virgen de la Caridad del Cobre es un importante patrimonio nacional e internacional, el cuál es visitado anualmente por miles de cubanos y de turistas. En 1916, este santuario fue declarado por el Vaticano como asiento de la Virgen de la Caridad del Cobre, Patrona de Cuba. Estos factores unidos a la declaración del templo como Santuario Nacional, han hecho de El Cobre un lugar de importancia religiosa, conocido en gran parte del mundo occidental.

### **Daños producidos por los trabajos mineros.**

- **Cambio de uso del suelo.**

Generalmente el uso del suelo de la zona es agrícola, con siembra de frutales, los trabajos mineros conllevaron a un cambio del mismo para otros fines.

- **Afectación a la flora y la fauna.**

Esta afectación en el área es grande, ya que en estos momentos se encuentra desprovista de vegetación y por tanto la fauna es escasa.

- **Afectación al paisaje.**

Se modificó el paisaje producto de los trabajos mineros, ya que el relieve sufrió cambios.

- **Desprendimiento de polvo.**

Producto de la acumulación de los escombros, de las colas y de la cantera desprovista de vegetación se genera gran cantidad de polvo al medio ambiente.



### Trabajos proyectados.

**Remodelado de taludes:** Este se realiza con la utilización del bulldózer y con el fin de rebajar los ángulos de corte, lo que producirá una mayor estabilidad del talud.



Fotos No 1 y 2. Taludes a rehabilitar

**Explanaciones:** Esta se hará con el bulldózer para lograr la conformación del relieve final del área a rehabilitar.



Foto No 3 y 4 Área donde se realizarán las explanaciones





**Rellenos con materiales estériles o escombros inertes:** Este se realizará para rellenar las depresiones u oquedades existentes, para luego extender sobre él la capa vegetal.



Foto No 5 y 6 Fotos de las áreas de las escombreras, que será recubierta por una capa de material inerte.

**Recubrimiento de superficie:** Cubrir la superficie del depósito con una capa de material inerte con un espesor de 15 –30 cm, encima de esa capa se colocará la capa vegetal, la cuál tendrá un espesor de entre 15 y 30 cm.



Foto No 7 y 8 Fotos de las áreas de las escombreras, que será recubierta por una capa de material inerte.





**Siembras y plantaciones:** Esta se realizará de forma manual, se llevará a cabo de acuerdo al terreno, estará dedicada repoblación forestal.

Se repoblará con las especies ipil-ipil como especie formadora de suelo y a largo plazo se reconsiderará mediante estudios agrícolas y sanitarios con especies arbóreas como : algarrobo , almendro, etc y con inclusiones de siembra de frutales muy característicos de la zona como marañón, mango, cañandonga, tamarindo y se deberá tener control de los servicios del medio natural sobre la cantidad y métodos de extracción.

En los taludes y presas de colas se reforestará con especies herbáceas, garantizando así un mejor crecimiento de las mismas.

### **Caracterización Hidrogeológica de las aguas de la cantera.**

La finalidad de éste trabajo es la caracterización química y bacteriológica de las aguas de la cantera, determinar la presencia y concentración de oligoelementos beneficiosos y nocivos que puedan presentar dichas aguas y establecer su posible uso .

- ❖ Itinerarios hidrogeológicos
- ❖ Muestreo hidroquímico
- ❖ Muestreo bacteriológico
- ❖ Medición del nivel
- ❖ Medición de temperatura
- ❖ Itinerario geoambiental
- ❖ Liquidación de focos contaminantes



Foto No 9 y 10. Vista de la Cantera, donde se acumulará el agua hasta la cota 85.

**Construcción de penetración invertida en el camino.** Esta se realizará con vista a eliminar el polvo y mejorar la ambientación de la entrada a la mina.



Fotos No 11 y 12. Camino de acceso a la mina.

## CONCLUSIONES.

- ♦ El presente trabajo se ha concebido con el objetivo de que su ejecución transforme el entorno degradado y hostil en un medio ambiente más agradable y útil, no sólo como medio físico, sino también para el disfrute ulterior del propio hombre y el resto de las especies vivas.
- ♦ Las acciones principales del proyecto son:
  - ✓ Recuperar los suelos degradados por la minería.
  - ✓ Recuperar la flora y la fauna del área.
  - ✓ Modificar el paisaje.
  - ✓ Reforestación
- ♦ El área de los taludes y las escombreras se reforestará con las especies ipil-ipil como especie formadora de suelo, luego valorar las especies frutales y forestales.
- ♦ El área de las presas de colas se reforestara con plantas herbáceas.



## CATALOGO DE LOCALIDADES DE INTERES GEOLOGICO Y PALEONTOLOGICO DE LAS PROVINCIAS HABANERAS.

**Arsenio Barrientos Duarte, M. Roberto Gutiérrez Domech y Gustavo Furrázola Bermúdez.**

**Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca 1002 esq. Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, CP 11000, La Habana, e mail [arsenio@igp.minbas.cu](mailto:arsenio@igp.minbas.cu)**

### RESUMEN

Con el fin de promover la protección y conservación del patrimonio geológico del país, consistente en cortes geológicos representativos de unidades litoestratigráficas se presenta un catálogo con 7 localidades de interés geológico y paleontológico.

En este catálogo se incluyen los holoestratotipos, algunos paratipos y localidades tipo de algunas formaciones del occidente de Cuba, con descripciones detalladas de sus características y situación actual.

El catálogo se acompaña de mapas de micro y macrolocalización, fotos y gráficos, así como propuestas de medidas de conservación y protección, en línea con las acciones que se emprenden a favor del patrimonio geológico.

En este trabajo también se proponen neoestratotipos para aquellas unidades estratigráficas en que, por falta de protección, desapareció su holoestratotipo ó localidad tipo, debido a construcciones, trazado de carreteras, etc., realizados sobre dicha localidad

### ABSTRACT

To promote the protection and conservation of geological patrimony of the country like geologic outcrops typical of lithoestratigraphic unities, the authors presents a catalogue with 7 localities of geologic and paleontologic importance.

The catalogue includes holostratotypes, some paratypes and type localities of different formations of western Cuba, including detailed description of its characteristic and actual situation.

Besides the catalogue contains macrolocalization and microlocalization maps, photos and graphics, as yet as propositions of rules to conservation and protection according to the national interest to favour the geologic patrimony..

In this paper the authors also propose neostratotypes for unities with lost holostratotypes or type localities no account of constructions or highways, etc. over it.

### INTRODUCCION

Los autores consideran que es necesario promover la protección y conservación del patrimonio geológico nacional, entre otros cortes geológicos representativos de unidades litoestratigráficas que tienen interés geológico y/o paleontológico y están recogidos en el Léxico Estratigráfico de Cuba. Para ello y como ejemplos se ha confeccionado un catálogo que incluye los holoestratotipos, paratipos y localidades tipo de 7 formaciones de interés, que son: Apolo, Capdevila ( con su neoestratotipo ), Jaruco, Martín Mesa, Mercedes y Peñalver. También la Formación Universidad, con una descripción detallada de sus características y situación actual.

También se proponen Neoestratotipos para aquella unidades estratigráficas en que por falta de protección, desapareció su holoestratotipo o localidad tipo debido a construcciones, trazado de carretera, etc. realizados sobre dicha localidad. Como ejemplo de lo antes citado, se encuentra el caso de las formaciones Capdevila y Universidad debe aclararse que la localidad tipo fue descrita en las excavaciones que se hicieron frente a la Plaza Cadenas, que después fueron cubiertas por el Edificio de la Facultad de Ciencias y el muro de contención de concreto, que la separan de la calle

San Rafael Por lo señalado antes, se propuso un Neoestratotipo ubicado en los cortes existentes en la Avenida de los Presidentes (calle G), en el tramo que va desde la calle Zapata hasta la calle 29.

## CATALOGO DE FORMACIONES DE INTERES GEOLOGICO

### Formación Capdevila

Autor: R.H. Palmer, 1934

Area tipo: Reparto Capdevila, provincia Ciudad de la Habana

Distribución Geográfica: Está bien desarrollada en las provincias de Pinar del Río, La Habana y Ciudad de la Habana.

Localidad tipo: Cantera del desaparecido Tejar Capdevila, a 100 m del lado N de la carretera Capdevila – Arroyo Naranjo y en el lado E de la Avenida de la Independencia ( Rancho Boyeros),provincia Ciudad de La Habana . Esta localidad, ahora, está cubierta por construcciones, por lo que fue necesario crear un Neoestratotipo.

Neoestratotipo: Corte en el lado N de la autopista nacional La Habana - Pinar del Río, a unos 4.5 Km al N del pueblo de Guanajay, provincia de La Habana. Coords: X-326720; Y- 349480

Observaciones; Los autores consideran que el corte del Neoestratotipo no necesita de protección o conservación especial, solo la imprescindible chapea de la vegetación que ocasionalmente puede enmascararlo parcialmente, ya que dicho corte tiene varios metros de altura y a la vez constituye un flanco de la Autopista Nacional. Si resulta de importancia ubicar allí una placa que indique o señale la significación de este corte tanto desde el punto de vista geológico, como paleontológico, ya que en dichas capas se incluyen horizontes con típicas biozonas del Eoceno Inferior, tanto de foraminíferos planctónicos como radiolarios.

### Formación Martín Mesa:

Autor: N. E. Weisbord, 1932.

Area tipo: Al N del embalse de La Coronela, provincia de La Habana.

Holoestratotipo: No fue establecido por el autor.

Lectoestratotipo: Corte en la cantera situada en Loma La Jutía, al N de la Autopista Habana - Pinar del Río y al N del Embalse La Coronela, provincia de La Habana. A unos 200 m más o menos NE del aliviadero de la misma. Coordenadas: X-357800: Y-347500

Distribución geográfica: Se desarrolla al N del pueblo de Guanajay, provincia La Habana y en los alrededores de Santa María del Rosario, provincia de Ciudad de La Habana.

Observaciones: La cantera donde se ubica la localidad tipo ya está explotada y ahora se utiliza por una dependencia de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de La Habana para la fabricación de moldes metálicos por explosión.

El área de la cantera debe protegerse con una cerca, después de desplazar las instalaciones universitarias cuyas actividades dañan la localidad, pues esta formación incluye una microfauna rara de foraminíferos planctónicos, radiolarios y nannoplancton, que es necesario preservar.. Además se debe colocar una señal en el entronque del camino a la cantera con la Autopista Nacional.



### Formación Peñalver

Autor: P. Bronniman y D. Rigassi, 1963

Area tipo: Avenida Monumental entre Vía Blanca y la Autopista Nacional, provincia Ciudad de La Habana.

Distribución Geográfica: Se desarrolla en la provincia Ciudad de La Habana, La Habana, Matanzas y Pinar del Río.

Holoestratotipo: Corte en la Avenida Monumental, a 1 Km aproximadamente al W del poblado de Peñalver, provincia Ciudad de La Habana.

Relación: Yace discordantemente sobre la Formación Vía Blanca. Está cubierta discordantemente por las formaciones Cojimar, Nazareno y Universidad.

Edades Inferior y Superior: Cretácico Superior (Maastrichtiano Superior) – Paleoceno

Observaciones: Esta localidad debe cercarse y señalizarse pues constituye una magnífica localidad donde se observan depósitos del límite K/T

### Formación Jaruco

Autor: D.K. Palmer en: p.j. Bermudez, 1950

Area tipo: Alrededores del pueblo de Jaruco, provincia de La Habana.

Holestratotipo: Corte de altura variable de 3 a 12 m aproximadamente, en el lado S de la línea del Ferrocarril Occidental, a unos 700 m al W del cruce con el Ferrocarril de Hershey, en el borde S del pueblo de Jaruco.

Relación: Yace concordantemente sobre la formaciones Consuelo, Chirino, Guanajay, Nazareno y Universidad. Está cubierta concordantemente por las formaciones Caobas, Cojimar, Güines y Paso Real y discordante por la Formación Villarroja.

Edades inferior y superior: Oligoceno Superior a Mioceno Inferior

Observaciones: Por su ubicación junto a la línea del ferrocarril no puede tomarse ninguna medida de limitación de acceso, pero debe colocarse convenientemente una placa o señal que destaque la importancia del corte.

### Formación Mercedes:

Autor: G. Furrázola et al, 1976

Area tipo: Al N de los Montes de Picadura de Camarones, en los alrededores del antiguo Central Puerto, al N del pueblo de Canasí, provincia de La Habana.

Distribución geográfica: Provincias de Matanzas, La Habana y Pinar del Río.

Holoestratotipo: Mercedes 2, a unos 9.5 Km al S-SE del pueblo de Los Arabos y a 1 Km al SW del Caserío La Cuchilla, Provincia de Matanzas.

Relación: Yace en discordancia sobre la Formación Vía Blanca. Está cubierta concordantemente por la Formación Madruga.

Edad: Paleoceno Inferior ( Daniano)

Observaciones: El geositio debe señalizarse convenientemente





### Formación Apolo.

Autor: P. Bronnimann y D. Rigassi, 1963

Area tipo: Repartos Alta Habana, Arroyo Apolo y Santa María del Rosario, provincia Ciudad de La Habana.

Distribución geográfica: Area Metropolitana (zona Sur) de Ciudad de La Habana y al NW del pueblo de Jaruco, provincia La Habana

Holoestratotipo: Corte en las aceras de la calle Holguín, al N del reparto Arroyo Apolo, provincia Ciudad de La Habana.

Relación: Yace discordantemente sobre la Formación Peñalver y cubierta concordantemente por la Formación Capdevila.

Edad: Paleoceno superior

Observaciones: El corte del holoestratotipo debe ser protegido de forma especial, por encontrarse en la vía pública. Es imprescindible la colocación de un rótulo que explique la importancia del lugar.

### Formación Universidad:

Autor: P.J. Bermúdez, 1937

Area tipo: Constituida por cada uno de sus miembros.

Distribución geográfica: se desarrolla al sur de la cordillera de Guaniguanico, Prov. de Pinar del Río; en las regiones de Cabañas, Mariel y al este de las playas de Jibacoa, Prov. de La Habana; Marianao, Vedado, Prov de Ciudad de La Habana; Valle de Yumurí, oeste de la localidad Chirino y en el Tejar Santa Isabel, Prov. de Matanzas.

Holoestratotipo: Véanse los de sus miembros subordinados (Príncipe y Toledo).

Relación: Yace discordante sobre las formaciones Chirino, La Trampa, Peñalver y grupo Mariel (Formaciones Madruga y Capdevila). Cubierta discordantemente por las formaciones Caobas, Cojimar, Colón, Consuelo, Guanajay, Jabaco, Jaruco, Loma Candela y Punta Brava.

Edades superiores e inferiores: Eoceno Inferior (parte alta) a Eoceno medio (parte baja).

Observaciones: El corte de la Loma del Príncipe se encuentra en la vía pública, en un área concurrida, por lo cual puede aislarse una sección y protegerse. Debe señalizarse convenientemente.

## **BIBLIOGRAFIA**

Consuelo Díaz, R. Gutiérrez, G. Furrázola, R. Pérez, A.I. Torres, y otros . 2002. Léxico Estratigráfico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. Inédito

## **ARQUEO GEOFÍSICA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉXICO, D. F. REINTERPRETACION CON LA TECNOLOGIA MÁS MODERNA**

José Luis Hernández Dehesa; Afrika Jimenez, Et Al.

*Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior De Ingeniería Y Arquitectura, Unidad Ticomán  
Departamento De Geofísica*

“En ese lugar, habrá germinación del corazón del Copil. Y tu, tu irás tu, Tenochtli, irás a ver allá como ha germinado el tunal, el tenochtli, del corazón del Copil. Allí, encima de él se ha erguido el águila, está destrozando, está desgarrando a la serpiente, la devora. Y el tunal, el tenochtli, serás tu, tu, Tenochtli. Y el águila que tu veras seré yo. Esta será nuestra fama: en tanto que dure el mundo, así durará el renombre, la gloria de México Tenochtitlan...”

Así describe la segunda Relación Chimalpahin Cuauhtlehuanitzin la profecía y mandato que Cuauhtlequetzqui había dicho a Tenochtli, y donde quedaba bien claro, cual era el sitio escogido por el Dios para el asentamiento de su gente.

Este lugar fue, un islote artificial en el centro del Valle de México, nuestra actual Ciudad de México, que no es ni por asomo, semejante a la fundada por los antiguos mexicanos. Es ahora, una metrópolis moderna, dicen que la mas grande del mundo, y por razones obvias, esta llena de vicisitudes y de problemas.

Uno de estos, es la heterogeneidad de su subsuelo. Lagos someros y planicies interiores conforman, además de los continuos aportes de los montes y rellenos artificiales, una masa muy difícil de controlar y describir si no es en largos textos, de los cuales se han ocupado los geotecnistas modernos. La Ciudad es, por el lugar donde está enclavada, así como por sus dimensiones actuales y su crecimiento irrefrenable, una consecuencia sin tope de problemas, como son la contaminación, la dificultad para dotarla de servicios, la población excesiva, el subsuelo y la transportación urbana.

Hablando llanamente, mucho se menciona que la movilidad es la mas amplia de las libertades. En tiempos modernos, el automóvil para nuestra ciudad, ha llegado a convertirse en garantía de aquella libertad, a la vez que es aceptado por muchos como símbolo de éxito en la vida, concepto que difícilmente se aceptaría como valido.

Puede pensarse que el crecimiento en el número de vehículos privados, traiga consigo una mejora en la situación del transporte urbano, pero la realidad es otra. El embotellamiento creciente de la avenidas y calles principales, no es más que un anuncio previo del caos que habría en la actualidad si el planteamiento de sistemas de transportación colectiva no se hubiera propuesto suficientemente a tiempo.

Este trabajo pretende, de una manera sencilla, mostrar cómo la exploración geofísica puede coadyuvar a la solución rápida de problemas técnicos y culturales, aunados a la construcción de uno de esos medios masivos de transporte urbano en el Distrito Federal, y tal vez el más importante, dado su amplio desarrollo dentro de la vida económica: el Metro.

Para contar con este sistema, se requiere de la participación, prácticamente de todas las disciplinas profesionales de la ingeniería y de la administración, sin dejar de mencionar, por supuesto, al más humilde colaborador, el obrero. La participación de los geofísicos, trabajando en una nada fácil conjunción con los arqueólogos y los geotecnistas, en un proyecto de esta magnitud, es bien importante y prácticamente decisiva.

A partir de su trazo y proyecto original, la línea 8 del Metro, no fue construida en el lugar que abarca el estudio que nos ocupa, por problemas diversos, ajenos a cuestiones técnicas y de utilidad pública, pero de cualquier forma, no se resta el mérito al esfuerzo desarrollado, tanto de autoridades, como de las empresas involucradas.

Es justo mencionar, aunque sea de manera breve, pero otorgando el crédito merecido la labor del equipo técnico que desarrolló todo el estudio, ya que no tuvo situaciones cómodas, debido al trabajo nocturno y los consabidos problemas que esto acarrea, pero que gracias a su ímpetu y ganas de hacer las cosas bien, logró información técnica tal, que su realización cobró gran importancia en el medio geofísico, pues ya se han rebasado nuestras fronteras, y se les reconoce como pioneros de la nueva corriente acerca de la exploración arqueológica con técnicas modernas.

Ellos son: nuestro asesor y Premio Nacional, M en C. Luis del Castillo García, geólogo egresado de nuestro Instituto Politécnico Nacional; Ing. Jorge García Rojas, geofísico de la primera generación de la ESIA, quien fungió como Coordinador General; al Fis. Salvador Hernández Hernández y al Ing. Benjamín Blanco, jefes de campo. Los ahora no tan noveles ingenieros, Salvador Belmonte, Ernesto García Weber, Roberto Reyes, Jorge Rodríguez, Luis Téllez, instrumentistas; Carlos Robles, jefe de gabinete; Araceli Cabrera, Carlos Gutiérrez, ingenieros de proceso; Ings. Eduardo Lugo, Héctor Montes, Hugo G. Hernández, Gerardo Herrera, interpretación y a la Lic. Martha Yduma Baños en la investigación e integración histórica.

Porque hasta ahora? Esta interrogante asaltara al lector al observar las fechas en que el primer trabajo de geofísica aplicada a la arqueología formal en México se desarrolla y su divulgación transcurre al paso de muchos años.

Como el proyecto inicialmente fue patrocinado por una entidad del Gobierno Federal, cuyo objetivo era la construcción de una línea de metro, existieron en ese entonces una serie de problemas que prácticamente prohibieron su divulgación en nuestro país. El problema político del enfrentamiento entre los titulares del Instituto Nacional de Antropología e Historia, con el Departamento del Distrito Federal, quienes se oponían entre la decisión de construir o no la obra en el Centro Histórico de México, con un impacto urbano extraordinario, nos obligo a mantener en resguardo los datos, que afortunadamente protegimos como propiedad intelectual ante la autoridad correspondiente.

Haciendo uso de esta facultad, el tema en otros términos y condiciones se ha presentado, dada la vigencia de la información, en algunos foros, entre los que destaca el congreso de la Society of Exploration Geophysicists, celebrado en la ciudad de Atlanta en los Estados Unidos de América en el año de 1984, evento que nos abrió prácticamente las puertas de la internacionalización en la materia, dado que desde ese entonces con alguna periodicidad se nos consultan los trabajos efectuados por instituciones sobre todo europeas, destacando entre otros el proyecto del Castillo Glamis en Escocia, sede del Príncipe de Gales, en donde se aplico exactamente la misma técnica sugerida por el autor. Los resultados fueron de primera calidad y se redescubrieron algunos aspectos del medioevo que solamente de esa manera se abrirían al conocimiento, gracias a la geofísica.

Como reiteradamente se señala, los datos son vigentes. Se invitó a diversos alumnos de la carrera de geofísica a que participaran en un proceso de reinterpretación de la información, aprovechando las técnicas electrónicas de configuración de datos y reintegrando de igual manera los datos históricos con que se cuenta en la actualidad.

Hacer la reingeniería de un proyecto como este no es tarea fácil, se requirió de la captura de toda la información que se encontraba dibujada a mano en un polvoriento archivo. Un total de 14,994 datos para un total de 833 barridos de resistividad, distribuidos en 47 líneas geofísicas, fueron ordenados, capturados, graficados y reprocesados por los alumnos de geofísica: Rodrigo Rojas, Aldo Varela, Gerardo Alba, Rafael García Puertos y Ramón López García.

Participaron asimismo, Julia Kielanowsky, Ivan Salazar, Karla A. Vizuet y Araceli Vargas en la captura, integración de datos históricos y teoría fundamental.

Mención especial lleva la casi ingeniera Afrika Jiménez, mi adjunta en la carrera de geofísica de la cual soy académico, quien hizo un esfuerzo sobrehumano para generar las plantillas de los cortes en planta, ya que por sí misma proceso un total de 12,576 datos para cumplir con ese objetivo en tiempo récord. No hay suficiente agradecimiento para ella.

Otro agradecimiento en particular, a la Arq. Grisel Acosta, por la modernización de toda la información en sistema asistido por computadora (ACAD), tarea tampoco fácil, si no existiera el interés de apoyarme incondicionalmente como siempre.

Este trabajo no queda ahí, sino que continuará con el auxilio de algunas otras técnicas para una investigación mas viable y enriquecimiento del acervo de la carrera de geofísica.



## **LA SÍSMICA IDENTIFICA RESERVORIOS Y SELLOS EN LA ZEE DE CUBA EN EL GOLFO DE MEXICO. COMPARACIÓN CON AFLORAMIENTOS EN EL ONSHORE CUBANO.**

**Silvia Valladares (1), Rafael Segura (1), José Alvarez (1), José Fernández (1), José Hernández (1), Olga Castro (1), América Sorá (1), Sonia Toucet (1), Sofía López (1), Margarita Juara (1), Rolando García (1).**

### **(1) Centro de Investigaciones del Petróleo**

Las principales rocas reservorio en Cuba corresponden a rocas carbonatadas que abarcan un rango estratigráfico desde el Jurásico Superior hasta el Paleoceno Superior. Las mismas están presentes tanto en los yacimientos ubicados en la parte terrestre de Cuba como en la parte marina que ha sido poco explorada. Los reservorios no mantienen su porosidad primaria pero han sido afectados por diversos procesos diagenéticos que le imparten sus propiedades actuales como tal llegando a tener valores de porosidad promedio del 15% y permeabilidad mayor de 1 Darcy.

En la parte terrestre es difícil obtener una imagen sísmica que logre diferenciar la compleja estructura interna de los reservorios, sin embargo en la parte marina se obtienen imágenes sísmicas que permiten identificar tanto los fenómenos deposicionales, como los que caracterizan los procesos que los convierten en reservorios. Así se pueden observar rocas de ambiente de plataforma, talud, de cuenca y los procesos de carsismo superficial y profundo.

Los autores han observado en afloramientos fenómenos similares a los identificados por la sísmica, los cuales le agregan valor a la interpretación.

Las principales rocas sello en la parte terrestre de Cuba corresponden a rocas arcillosas que abarcan un rango estratigráfico desde el Eoceno Inferior hasta el Oligoceno. También pueden ser identificadas, aunque con menor definición, por imágenes sísmicas y en afloramientos.



## RESULTADOS DE INVERSIÓN ACÚSTICA, ELÁSTICA Y HFI EN EL CUBO DE YAMAGUA

*Pujianto Lukito, Cristina Solla Hach y Susana Torrescusa Villaverde.*  
Exploración Regional Cuba, **REPSOL-YPF**.

Distintos procesados sísmicos fueron hechos en el cubo de Yamagua para mejorar la calidad de los datos. La interpretación en tiempo previa al sondeo se hizo con dos cubos: Post-STM y Short Offset. El Short Offset consiguió una mejora en la definición de uno de los objetivos más profundos

Dos compañías contratistas (Fugro y Paradigm) realizaron la inversión acústica y elástica de estos dos cubos. Otra compañía (Geotrace) además, probó un nuevo procesado: High Frequency Image (HFI), el cual aumentó las frecuencias 20 Hz.

En esta presentación se mostrarán los pasos seguidos para realizar una inversión tanto acústica como elástica y sus resultados en el cubo de Yamagua. También se mostrarán los resultados de HFI.

Las conclusiones de este trabajo son las siguientes:

- La inversión realizada con un único pozo limita en cualquier caso la estimación de la ondícula y el modelo inicial de bajas frecuencias, ambos imprescindibles para una buena inversión. La incorporación de las velocidades sísmicas para las bajas frecuencias ayudaron a disminuir la incertidumbre en el modelo inicial.
- La correlación entre sísmica y pozo en las zonas más profundas es aceptable pero no excelente. Es posible que se deba a la complejidad de la estructura en la zona tectonizada.
- La inversión acústica limitada a un ancho de banda mejora considerablemente la definición de los objetivos más profundos (MCU), lo cual permite una interpretación más fiable que en el propio cubo sísmico.
- Para los objetivos más someros la inversión acústica de banda ancha es más fiable que los mapas de amplitudes de la sísmica a la hora de identificar determinados cuerpos geológicos y geometrías tales como truncaciones en el Eoceno.
- Las impedancias acústicas altas de las cretas se pueden relacionar con rocas duras y frágiles y por lo tanto más susceptibles a ser fracturadas. Las impedancias acústicas bajas en litologías dolomíticas se podrían relacionar con zonas de alta porosidad.





## CALIDAD DE LOS RESERVORIOS CARBONATADOS DE LA UTE CAMAJUANÍ.

**Autor: Osvaldo López Corzo<sup>1</sup>**

Email: [ocorzo@ceinpet.cupet.cu](mailto:ocorzo@ceinpet.cupet.cu)

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET)  
Washington # 169 esq. Churrua. Cerro. Ciudad Habana

### RESUMEN

A pesar de mantenerse los volúmenes de producción de crudo en nuestro país en los últimos años, el rendimiento de algunos campos petrolíferos de la Franja Norte de Crudos Pesados ha declinado considerablemente; por lo que es imprescindible que la futura exploración se dirija a nuevos objetivos geológicos. Esto puede verse desde varios puntos de vista: uno de ellos es encontrar nuevos reservorios en áreas conocidas o desconocidas, y el otro es encontrar los mismos reservorios pero en zonas completamente nuevas. El presente trabajo se relaciona con la primera de estas variantes.

Tradicionalmente se ha considerado que los reservorios carbonatados de la Unidad Tectonoestratigráfica (UTE) de Camajuaní presentan mala calidad, esto se fundamenta por las evaluaciones hechas a estas rocas en perforaciones que las han alcanzado y esencialmente por las bajas producciones gasopetrolíferas reportadas en las mismas. Sin embargo, son pocos y muy profundos los pozos que han atravesado estas secuencias, por lo que no existen suficientes datos para una completa evaluación de formaciones. Los reservorios de Camajuaní tienen mucha similitud en cuanto a rasgos texturales, procesos tectono-diagenéticos que los han afectado, microfacies y biofacies constituyentes y posición en el corte estratigráfico con sus análogos de la UTE Placetás.

El objetivo esencial del trabajo es resaltar algunas de las características de estos reservorios enmarcados en el intervalo Cretácico Inferior – Jurásico, muchas de ellas reveladas en la reciente perforación de estas rocas en el área de Bahía de Cárdenas, también se tienen en cuenta otras perforaciones, datos de superficie, datos provenientes de núcleos, muestras de canal, registros de perforación, registros geofísicos y de imágenes. También se proponen algunos sectores donde probablemente exista levantamiento estructural de estos reservorios, de manera tal que constituyan zonas de interés para futuros trabajos de detalle.

### ABSTRACT

Although the Cuban oil production has been similar in the last years, some fields show a dropping trend in the North Belt of Heavy Crude, so it's self evident to make exploration jobs in new fields. In other words, there are two different ways or points of view to solve this problem: 1 - Finding new reservoirs in well known areas or unknown ones. 2 - Finding the same productive reservoirs in new areas. This work is related to the first way.

Usually the carbonate reservoirs of Camajuaní Tectono-stratigraphic Unit (TSU) have been considered as bad in quality, this is based on the evaluations made to these rocks in some drillings and basically for the low oil production rates they have had. However, there are few and very deep wells that have reached them, so there is not enough data for a complete evaluation of these reservoirs. The deep water carbonates of Camajuaní TSU have a lot of features in common with their analogues of the Placetás TSU, that's to say, both textural patterns, diagenetic and tectonic process that have affected them, biofacies and position in the geologic section are quite similar.

The main objective of the present work is to remark some characteristics of these reservoirs, also dated as Upper Jurassic to Low Cretaceous. The reservoirs have been reached in the Cupey 2X recent well, Bay of Cardenas. We have considerable other drillings too, surface data, core analysis, drill cuttings,



current geophysical logs and FMI logs. Some areas where these reservoirs could probably exist as favourable structural sheets are also given, so they are very important for future detail works.

## INTRODUCCIÓN

Existen 5 factores que controlan la producción de hidrocarburos en un reservorio de cualquier tipo (Shawa Geoconsultants Ltd., 1987):

- ❖ Ambiente deposicional.
- ❖ Composición litológica.
- ❖ Elementos estructurales.
- ❖ **Procesos diagenéticos.**
- ❖ Tratamientos físico-químicos inducidos por el hombre.

Es el principal objetivo de este trabajo remarcar el papel que juegan los procesos diagenéticos en la creación o destrucción de porosidad en nuestros reservorios carbonatados, fundamentalmente en los correspondientes a la UTE Camajuaní, aunque para ello es inevitable remitirse a cómo se comportan estos en los reservorios de la UTE Placetas, para de manera comparativa estimar buena calidad de los mismos en rocas que hasta hoy no son buenos colectores.

Generalmente se ha considerado que las fracturas son las únicas encargadas de crear espacio poroso en nuestros carbonatos de textura fina, esto era bien sostenido por criterios de porosidades en carbonatos en el momento de su deposición y en las rocas consolidadas dispuestas en el subsuelo o afloramientos. Sin embargo, estudios recientes han dado una significativa importancia a los procesos diagenéticos que operan en estos sedimentos inmediatamente después de su deposición inicial y que pueden crear, destruir o mantener la porosidad inicial de los carbonatos (Figura 1).

Es bien conocido que todos los carbonatos de margen continental existentes en el subsuelo cubano (Unidades de Placetas y Camajuaní), sufrieron un régimen compresivo similar a finales del Cretácico y principios del Terciario. Esto ocasionó que estos carbonatos de textura fina, que ya habían sufrido una historia diagenética durante la etapa de enterramiento profundo, fueran sometidos a fenómenos de cabalgamientos que posteriormente condicionaron la formación de las acumulaciones gasopetrolíferas con que hoy en día contamos. La mayor parte de estas acumulaciones se encuentran en secuencias de Placetas que en muchos lugares sobreyacen a sus análogas de Camajuaní, por lo que son evidentes los intensos fenómenos de compactación profunda a que estas últimas han sido sometidas. Sin embargo, aún en estas condiciones los reservorios de Placetas y Camajuaní tienen mucha similitud, sobre todo en la forma en que los procesos diagenéticos operaron sobre estos carbonatos a lo largo de su evolución geológica.

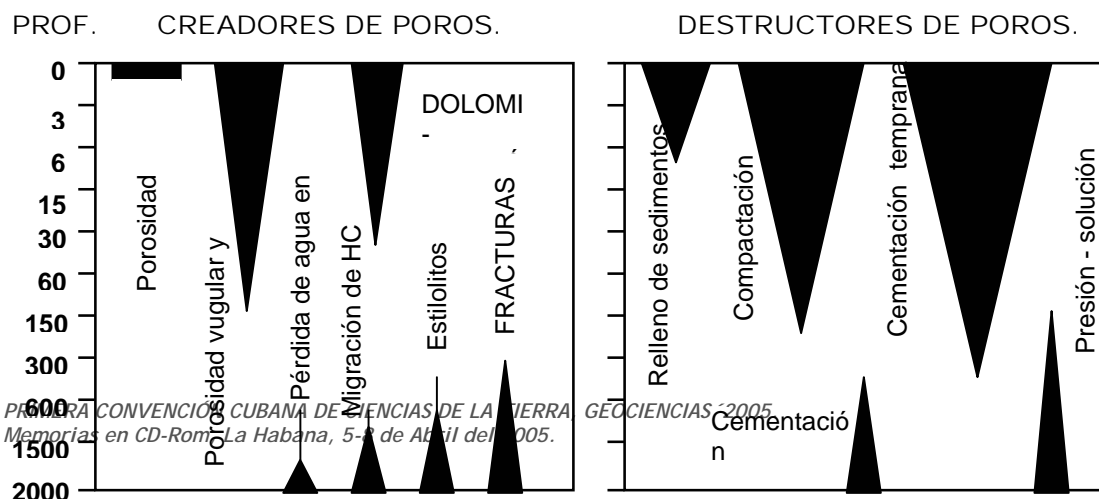




Figura I: Procesos destructores y creadores de porosidad. Longman, 1981. El área de las superficies oscuras es proporcional a la magnitud de los procesos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para lograr la consecución de los objetivos esenciales del trabajo se contó con secciones delgadas realizadas a testigos de perforación, algunas muestras de canal de perforaciones más recientes, fotos de afloramientos, registros geofísicos y de imágenes.

Existen en los reservorios carbonatados cubanos diversos procesos diagenéticos que de manera diferente han creado y destruido espacio poroso. Estos han sido muy bien estudiados en las numerosas perforaciones petroleras que alcanzan los reservorios de Placetas, partiendo de estos fenómenos, se estudiaron, de manera comparativa, la presencia de estos en las rocas Jurásicas y Cretácicas de Camajuaní. Lamentablemente no contamos con análisis químicos especiales para hacer una adecuada evaluación de la evolución de ellos en el tiempo. Por lo que tenemos que remitirnos sólo a su observación y relación que guardan con la calidad del reservorio.

## RESULTADOS

En todos los carbonatos del Grupo Veloz (UTE Placetas) se registran procesos diagenéticos similares. Sin embargo, existen algunas distribuciones de estos con respecto a determinados pisos estratigráficos, es decir, con frecuencia son diferentes en tipo e intensidad los fenómenos del Neocomiano con respecto a los del Jurásico (Tabla 1), aunque en determinadas áreas pueden no variar de la misma forma. Basándonos en este estudio hemos seleccionado algunos pozos que atraviesan los reservorios de Camajuaní y donde se observan distribuciones muy similares de estos procesos a través del tiempo.

Aunque hemos reflejado muchos procesos diagenéticos que ocurren en carbonatos de la UTE Placetas, esto se debe a que la mayor cantidad de pozos perforados tiene más información sobre esta unidad. No obstante, se han podido resaltar estos mismos en sus análogos de Camajuaní.

EFFECTO SOBRE LA $\phi$	PROCESO DIAGENÉTICO	CIF. IV – V JAGUITA	CIF. II – III JAGUITA	RONDA + CIF. I MARGARIT	MORENA MARGARIT
DESTRUYEN POROSIDAD	ENTRECRESCIMIENTOS CRISTALINOS	X X X X	X X X	X X	X
	CEMENTACIÓN TEMPRANA (?)	X X X (P)	X	X X	X
	CEMENTACIÓN TARDÍA (?)	X X (M)	X X X	X X	X



	COMPACTACIÓN MECÁNICA	X X (P)	X X X	X X X	X
	COMPACTACIÓN QUÍMICA (SD)	X X X X (M)	X X X	X X	X
CREAN POROSIDAD	MICROPOROSIDAD	-	X	X X	X X X
	DISOLUCIÓN	X	X X	X X	X
	CORROSIÓN	X	X X X	X X	X
	DOLOMITIZACIÓN	X X X X	X X X	X X	X
	ESTILOLITIZACIÓN	X X (M)	X X	X X	X
	ENSANCHAMIENTO DE SD (?)	X X X	X	X	-
	FRACTURACIÓN	X XX	X X XX	X	-

**Tabla 11:** Procesos diagenéticos que crean y destruyen porosidad en los reservorios de Placetas y Camajuaní. En el caso de esta última UTE estos fenómenos no se han estudiado con la misma profundidad por falta de datos.

### Reservorios del Jurásico

Estos han sido muy bien estudiados sobre todo en los pozos verticales de la FNCP, desde Boca de Jaruco hasta Varadero. Se han dividido dos paquetes deposicionales dentro de la Formación Cifuentes de la UTE Placetas: uno más somero (Kimmeridgiano) y otro profundo (Tithoniano). Aunque en Camajuaní no se ha estudiado con la misma precisión debido a las pocas perforaciones y escasos núcleos, sí se han detectado microfacies similares con procesos diagenéticos también muy parecidos.

Las rocas del Jurásico de ambas UTEs tienen evidencias de haber sufrido los efectos del enterramiento muy profundo con sus procesos diagenéticos acompañantes. Se han detectado en estas rocas dos microfacies muy representativas: una de mudstone calcáreo con aislados bioclastos y difusos peloides, y otra de packstone-grainstone con intraclastos, favreinas, peloides y escasas oolitas (Valladares, S. et al; 1997):. Además tiene una microfacies en forma de capas finas, con intensa dolomitización y excelente porosidad intercrystalina (Figura 2).

La porosidad de ambas microfacies ha sido afectada por procesos de recristalización intensos (entrecrecimientos entre cristales de  $\text{CaCO}_3$ ) debido a elevadas presiones y temperaturas, bien observable en la matriz fina de los mudstone calcáreos. Esto ha provocado una intensa rigidez del esqueleto mineral que conforma una roca muy densa, homogénea y propensa a la fracturación. También la cementación temprana ha obliterado la porosidad, es probable que la microfacies de grainstone haya sufrido cementación algo más temprana y pronunciada que la de mudstone, esto es explicable por el mayor desarrollo en esta última de juntas de disolución rellenas por bitumen oxidado, metálico y material argiláceo impregnado de MO, resultado de la compactación química o presión disolución durante la etapa de enterramiento profundo. En cambio en la microfacies de packstone-grainstone, estas no están desarrolladas en el mismo grado, esto sugiere una cementación más temprana que contribuyó a la rigidez del esqueleto



mineral y a la consecuente disminución de los efectos de la compactación mecánica y química (López, O.; 2003). Además en muchas ocasiones se observa cemento secundario de calcita entre los aloquemos (Choquette, P.W., L.C. Pray, 1970).

Existe en estos intervalos abundante dolomitización (más frecuente en los mudstone) que no siempre está asociada a las juntas de disolución, por lo que pudiera ser el resultado de influjos de aguas superficiales, y siempre está acompañada de muy buena porosidad intercrystalina y saturación de petróleo (Figura 2).

La fracturación conjuntamente con el probable ensanchamiento de juntas de disolución durante la orogenia son los principales factores creadores de porosidad en las casi siempre densas y consolidadas rocas del Jurásico Kimmeridgiano. También pudiera tener importancia local la corrosión por fluidos diagenéticos tardíos con posterior infiltración de HC.

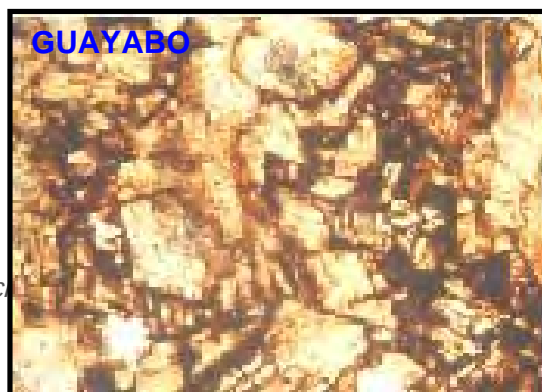
Reviste una singular importancia en estas rocas la **dolomitización**, según teorías modernas este proceso no siempre crea porosidad como se pensaba anteriormente (por reducción de volumen en un 12-13% en la sustitución molecular de la calcita por dolomita), sino que más bien es el resultado final del balance de la cantidad de calcita que se disuelve y dolomita que precipita, si abunda la precipitación sobre la disolución entonces habrá cementación por dolomita; en cambio, si prevalece la disolución sobre la precipitación entonces se creará espacio poroso (*Esteban M. Taller de reservorios carbonatados. Ciudad Habana. Febrero 2002*).

En la mayoría de los paquetes del Jurásico existe, en menor o mayor proporción, el fenómeno de la dolomitización. **Independientemente del proceso que la haya originado, en la mayoría de los casos donde se manifiesta este mineral diagenético hay compañía de petróleo, bitumen y/o MO.**

En términos generales podemos señalar que la dolomitización en nuestros reservorios se manifiesta de dos formas fundamentales, probablemente como resultados de procesos diferentes:

- Como mineral neomórfico o estiloreativo, resultado de la precipitación a partir de residuos insolubles en juntas de disolución y/o estilolitos, donde frecuentemente coexiste con MO o bitumen oxidado, minerales metálicos, arcilla, etc. Aquí se presenta en finos lentes del orden de milímetros a algunos centímetros.
- Como resultado de la precipitación de la dolomita en bandas que alcanzan desde algunos centímetros hasta unos metros. Probablemente como resultado de la disolución de calcita original debido a acción de fluidos provenientes de influjos superficiales o acuíferos profundos enriquecidos en Mg. En estos casos se tienen bandas dolomíticas con elevada porosidad intercrystalina saturada por HC.

**Aunque el caso de la dolomitización como aspecto generalmente positivo en las cualidades del reservorio se ha enmarcado en las secuencias del Jurásico, en las rocas del Neocomiano puede abundar localmente.**







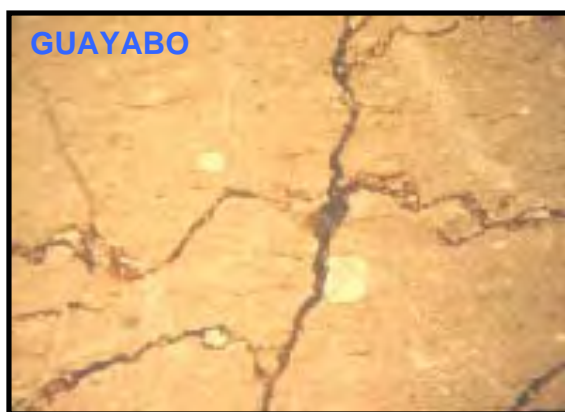
**Figura 2:** Horizontes dolomíticos dispuestos en los reservorios de Placetas y Camajuaní. Marcada porosidad intercrystalina ocluida con petróleo, bitumen oxidado y MO.

***La dolomitización es un fenómeno de suma importancia que debe ser objeto de futuros estudios de detalles en los carbonatos de Camajuaní. Estos tuvieron un ambiente deposicional ligeramente más somero que sus similares de Placetas, por lo que deben haber sido afectados de manera más intensa por estos fenómenos, esto pudiera conllevar a encontrar reservorios parcialmente dolomitizados en zonas más profundas.***

Por otra parte han ocurrido en los carbonatos del Jurásico (tanto en Placetas como en Camajuaní) otros fenómenos que han creado espacio poroso, entre ellos se destacan la disolución, estilolitización, ensanchamiento de superficies de disolución y fracturación (Figura 3). Al igual que intervalos descritos anteriormente, los procesos diagenéticos destructores de porosidad son la conversión de una matriz microporosa en una matriz muy cementada por microesparita, ya sea debido al entrecrecimiento entre granos finos (crystal interlocking o recristalización), o a la cementación. La compactación mecánica, que en zonas provoca que las texturas de wackestone bioclástico se transformen en packstone, es muy frecuente en carbonatos del Jurásico. También procesos de cementación más bien tardía, bien manifiesta en fracturas completamente rellenas de mosaicos de calcita espática.

En estos depósitos han ocurrido intensamente los procesos diagenéticos creadores de porosidad. En numerosos testigos de perforación asociados a esta secuencia se detectaron vórgulos de diversos tamaños, asociados probablemente a la etapa telogenética o de exhumación (?), o a grandes fracturas regionales que propiciaron el movimiento de fluidos.

La compactación química ha generado, además de juntas de disolución (que son consideradas barreras de permeabilidad), frecuentes estilolitos como consecuencia de la presión-disolución en rocas con cierto grado de consolidación y heterogeneidades en su volumen matricial (Andrews, L. ; Railsback, L.; 1997). Los mencionados estilolitos, así como las juntas de disolución, se disponen subparalelos a direcciones de estratificación (predominantes), originados en el enterramiento profundo, en la etapa preorogénica o de deriva, pero también pueden manifestarse perpendiculares a la dirección (cuando es observable) de los estratos.



**Figura 3:** Fenómenos intensos de fracturación-estilolitización que provocaron brechamiento en carbonatos del Jurásico. Más acentuados en rocas de Placetas (Var. 23) que en las de Camajuaní (Guayabo).



## Carbonatos del Neocomiano.

Los carbonatos del Neocomiano no han reportado considerables producciones de hidrocarburos donde han sido perforados, sin embargo, sus electrofacies correspondientes arrojan buenas características como reservorio, con porosidades a veces superiores al 24%, saturaciones de petróleo de más del 50% y contenidos de Uranio considerables, estos últimos nos hablan de MO, fracturación, etc. En los equivalentes de Camajuaní, pozo Cupey 2X, donde se realizaron mediciones con registros geofísicos más modernos, se obtuvieron valores muy similares a los carbonatos del Neocomiano en Placetas.

No existe un gran desarrollo de procesos diagenéticos que hayan empeorado sus cualidades como reservorio: entrecrecimientos cristalinos o recristalización que sólo llega a ser acentuada en sus partes más inferiores (donde también aumentan el resto de los procesos diagenéticos), mayor contenido de arcilla lo cual no proporciona suficiente rigidez al esqueleto mineral para que una fractura tenga una amplia extensión. La compactación química está mucho menos desarrollada que en otras litofacies, los estilolitos y las juntas de disolución, cuando aparecen, tienen poco desarrollo y longitud, aunque puede haber zonas dentro de esta litofacies con mayor desarrollo de superficies de disolución. En algunas zonas se observa cementación por esparita en forma de micronidos, ya sea de bioclastos o de microvúgulos, como resultado de procesos de disolución locales. En carbonatos de esta litofacies en los que se han desarrollado entrecrecimientos cristalinos (recristalización), han ocurrido algunos procesos de presión-disolución con consecuentes juntas de disolución no muy extendidas.

Los carbonatos del Neocomiano tienen marcada porosidad intergranular e intercrystalina, es decir, es sumamente importante en este intervalo del Neocomiano la **microporosidad** (Figura 4), con poros muchas veces inferiores a los 5µm. Los volúmenes productivos menos elevados pueden deberse fundamentalmente a las características de nuestros crudos en cuanto a densidad, viscosidad, etc. Sólo hacia la parte baja del Neocomiano las características del reservorio mejoran, esto se debe a que se acentúan procesos de disolución, fracturación y brechamiento por diagénesis.

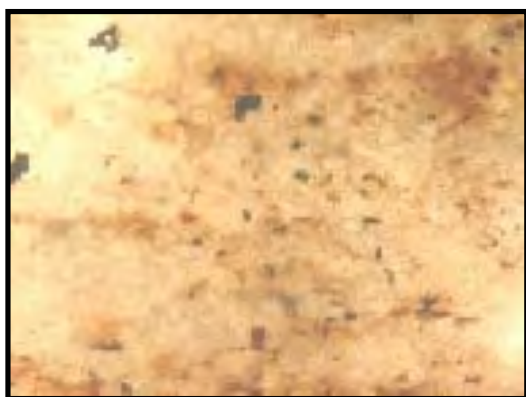


Figura 4: Abundante microporosidad presente en los carbonatos del Neocomiano. Formación Margarita. Pozo Marbella Mar 1.

Este fenómeno se aprecia tanto en los reservorios de Placetas como en los de Camajuaní. A pesar del enterramiento de estos en el área de Cupey se registraron porosidades mayores del 18%.

Hacia la parte baja del Neocomiano es muy frecuente que por una parte disminuya la microporosidad, pero por otra aumente la permeabilidad. La disminución se debe a que los carbonatos del Límite Jurásico-Cretácico con frecuencia se encuentran recristalizados y la microporosidad se ocluye por microesparita, pero consecuente con esto aumenta la rigidez del esqueleto mineral y se propicia la fracturación. Esto es notable tanto en los carbonatos de



Placetas como en los de Camajuaní. Aquí también comienzan a hacerse abundantes los fenómenos de presión disolución, disolución y a veces de corrosión con penetración de petróleo. En términos generales la calidad del reservorio mejora cuando nos acercamos al Jurásico (Figura 5).

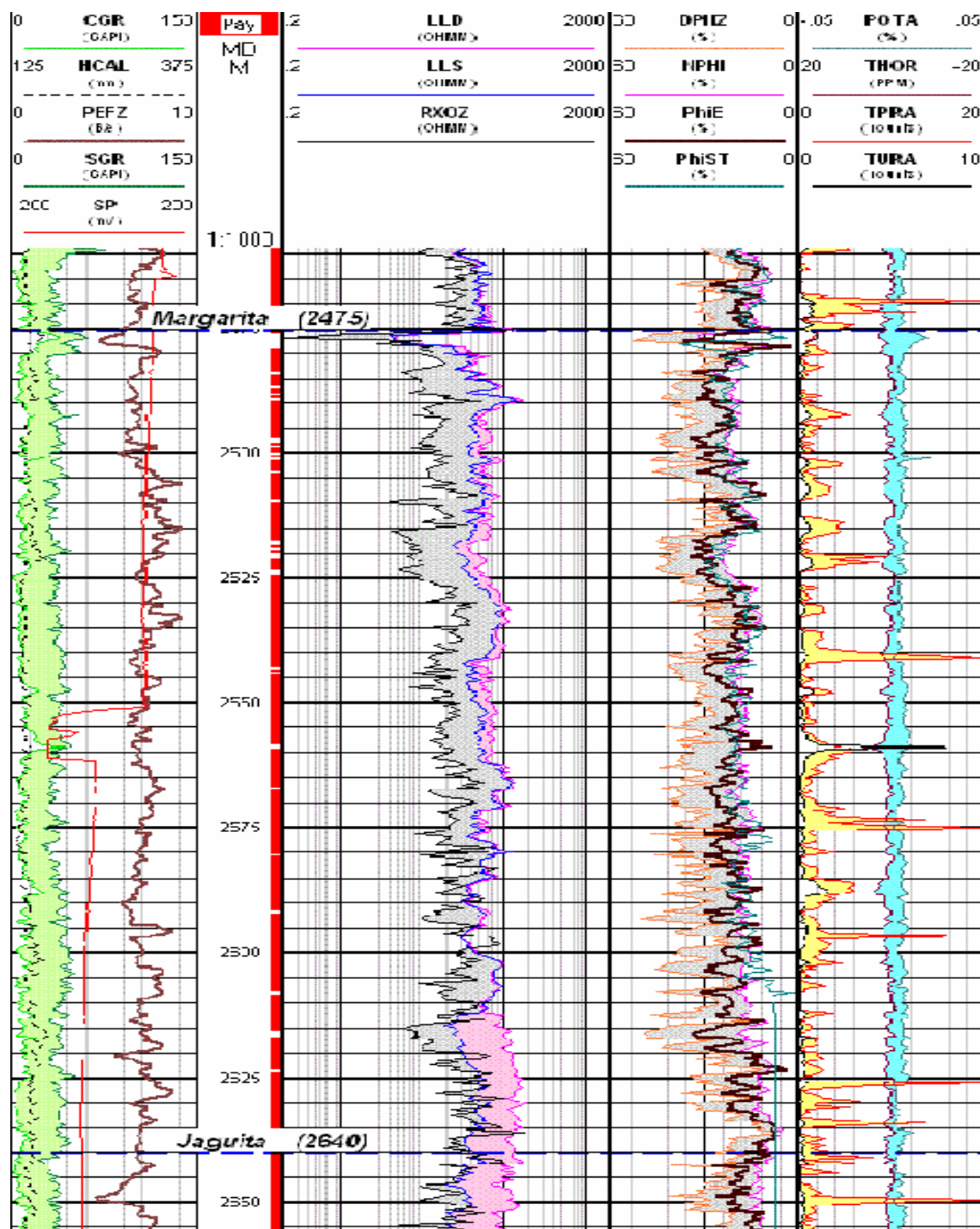


Figura 5: Diferencias en el comportamiento de los reservorios en el límite Cretácico – Jurásico. UTE Camajuaní. Pozo Cupey 2X.

El pozo Cupey 2X (Figura 5), aunque no reportó considerables entradas de hidrocarburos, fue sumamente importante por las características que mostraron sus reservorios. A profundidades mayores de 2100 m se registraron porosidades superiores



a un 15%, lo cual nos habla de la calidad que estos pudieran tener de haberse cortado en posiciones estructurales más ventajosas.

## CONCLUSIONES

- ✚ Los procesos diagenéticos que crearon y destruyeron porosidad en los reservorios de la UTE Camajuaní son muy parecidos a sus similares de Placetas. Además hay correspondencia en la forma en que los mismos varían con el tiempo. Por ello los reservorios de Camajuaní pudieran mostrar muy buena calidad.
- ✚ Aunque el Neocomiano de Camajuaní no está dividido como en el caso de Placetas (Formaciones Morena y Ronda), sí existe mucha similitud entre las litofacies constituyentes y su mejora en la calidad de los reservorios hacia la parte baja del Neocomiano.
- ✚ En el pozo Cupey 2X se registraron porosidades mayores del 15%, a una profundidad de más de 2100 m. Lo cual es una evidencia de que en posiciones más favorables estas propiedades pueden mejorar considerablemente.
- ✚ En pozos ubicados en el bloque 9 (área de Martí - Corralillo), muchas veces las secuencias de Placetas comienzan a poca profundidad. Pudieran encontrarse reservorios de Camajuaní a menos de 1700 m de profundidad.

## RECOMENDACIONES

- ✚ Hacer análisis especiales para evaluar reservorios de la UTE Camajuaní.
- ✚ Estudiar con más profundidad el bloque 9, para evaluar posibles levantamientos estructurales de las rocas de Camajuaní.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrews, L. ; Railsback, L. (1997): Controls on stylolite development: Morphologic, Lithologic and temporal evidence from bedding-parallel and transverse stylolites from the U.S. Appalachians. *Journal of Geology*, v. 105, p. 59-73.
- Esteban, M. (2002): Taller de reservorios carbonatados. Distribución y evolución de la porosidad: Modelos diagenéticos y casos prácticos, 1-100.
- Longman, L. (1981): Diagenesis as creating and reducing pore space in carbonates. *Reservoirs III, Carbonates*.
- López, O. (2003): Estudio Facial para la Evaluación de Formaciones en el Área Marbella. Varadero. Tesis en opción al grado de MSc.





Choquette, P.W., L.C. Pray, (1970) : *Geologic Nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*. Reservoirs III, Carbonates. American Association of Petroleum Geologists, 5, p. 1-45.

Shawa, M.S. et. al. (1987) : *Sedimentology and Behavior of Petroleum Reservoirs*. Seminar Notes. Shawa Geoconsultants Ltd.

Valladares, S. et al (1997): Reservoirs carbonatados pertenecientes a la UTE Placetas. Etapa 1. Proyecto 2006, 26-27.



## ESTUDIOS DE INCREMENTO DE RECOBRO DE PETRÓLEO EN CUBA

**Ariel Díaz<sup>(1)</sup>, Orlando Bague<sup>(1)</sup>, Félix S. Echevarría<sup>(1)</sup>, Juan A. Mateo<sup>(1)</sup>, Luisa Díaz<sup>(1)</sup> y otros.**

(1) Ceinpet, Washington No 169 ESQ. A Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail:  
[ariel@ceinpet.cupet.cu](mailto:ariel@ceinpet.cupet.cu), [obague@ceinpet.cupet.cu](mailto:obague@ceinpet.cupet.cu), [echevarria@ceinpet.cupet.cu](mailto:echevarria@ceinpet.cupet.cu),  
[mate@ceinpet.cupet.cu](mailto:mate@ceinpet.cupet.cu), [luisa@ceinpet.cupet.cu](mailto:luisa@ceinpet.cupet.cu)

### RESUMEN

Al producirse el agotamiento de la producción de petróleo, con los métodos naturales, surge la necesidad de interactuar con el coeficiente de entrega de petróleo de los reservorios mediante estimulaciones a la zona aledañas al pozo o la recuperación mejorada de petróleo (RMP) a la capa productiva. El presente trabajo tiene como objetivo exponer los resultados alcanzados en nuestra actividad en Cuba relacionados con la recuperación de petróleo.

En 1968 se comenzó las primeras experiencias de campo sobre Recuperación Secundaria, inyección de agua en el Yacimiento Jatibonico, manteniéndose hasta la fecha, obteniéndose un 14 % de recuperación adicional. Algunos trabajos se extendieron al Yacimiento Cristales, bloque 79, 77 y otros.

A partir de 1990 especialistas cubanos y asesores soviéticos, realizaron análisis y muestreos de agentes químicos, presentes en residuales de los procesos tecnológicos de diferentes ramas de la economía cubana, obteniéndose, en general, buenos resultados para su aplicación a escala de campo.

En el presente contamos con documentación técnica, parte material de laboratorio y experiencia, en empresas como en el CEINPET, para acometer estas tareas. Se cuenta con programas de simulación (CMG), que permiten modelar yacimientos y estudiar su comportamiento con distintas variantes de RMP, llevándose nuevos temas de investigación relacionados con los Métodos Vapex, control de fluidos con Geles y estudios Integrados de yacimientos, de conjunto con CMG, el INTEVEP, materializando nuevos estudios para los yacimientos Varadero, Puerto Escondido, Boca de Jaruco, otros del Litoral Norte Habana- Matanzas, también para Cristales y Pina con resultados futuros alentadores.

### ABSTRACT

When it takes place the petroleum production exhaustion, with the natural methods, it arises the necessity of interacting with the petroleum delivery coefficient from reservoirs, by means of simulations of neighbouring areas to the well, or to the enhanced oil recovery (EOR) of the productive layer. The present work has as objective to expose the reached results in Cuba, related with the petroleum recovery. In 1968 it began the first field experiences about Secondary Recovery, water injection in Jatibonico oil field, staying to the present days, being obtained 14% additional recovery. Some works extended to the Cristales oil field, blocks 77, 79 and others.

Starting from 1990 Cuban specialists and Soviet advisers, carried out analysis and chemical agent's samplings, present in residual from technological processes of different branches of Cuban economy, being obtained, in general, good results for their application to field scale.

In present days we have technical documentation, material part of laboratory and experience, in enterprises and in CEINPET, to realize these works. They are simulation programs (CMG) that allow us modeling oil fields and to study their behavior with different EOR variants, taken new investigation topics related with the Vapex Methods, Gels fluids control and oil field Integrated studies, together with CMG, INTEVEP, materializing new studies for Varadero, Puerto Escondido, Boca de Jaruco oil field, others of Litoral Norte, Havana - Matanzas, also for Cristales and Pina, with encouraging future results.



## INTRODUCCIÓN

La Recuperación mejorada de petróleo constituye una especialidad que cada día alcanza nuevos horizontes, estando en continua renovación, en la búsqueda de nuevos métodos y aditivos que garanticen lograr el fin propuesto (incrementar el recobro de la producción de petróleo) con eficiencia y a un costo razonable.

Generalmente nuestros yacimientos tienen un bajo recobro de petróleo, debido a las características del petróleo, que son pesados y extra pesados, con alta viscosidad y alto contenido de asfáltenos, así como a las complejidades geológicas de yacencia, por lo que se requiere de la aplicación de determinados métodos para incrementar la recuperación.

En general existen diversos métodos y la elección de uno u otro dependerá en gran medida de las condiciones peculiares de cada yacimiento y/o pozo.

La literatura consultada muestra una amplia gama de posibilidades en cuanto a métodos utilizados y en procesos de estudios como son: la aplicación de los primarios; los métodos secundarios con la inyección de agua o gas y terciarios: los químicos (inyección de soluciones acuosas, álcalis, surfactantes, polímeros, geles, etc.); los térmicos (inyección de vapor, solventes calientes, combustión in situ, etc); WAG - inyección de agua con gas alternado; solventes aromáticos; Vapex – solventes vaporizados; inyección de CO<sub>2</sub> (agua carbonatada, CO<sub>2</sub> líquido), MEOR – recuperación mejorada por microorganismos, etc.

La mayor dificultad para la introducción de las tecnologías de avanzada, en las condiciones actuales de la industria de extracción de petróleo cubana, ha sido fundamentalmente el alto costo en divisas de éstas, así como de los aditivos a emplear, que son celosamente protegidas bajo patentes de las compañías suministradoras de los mismos.

Esta situación pudiera tener posibles soluciones nacionales, ya que existen en nuestro país materias primas, subproductos y residuales, que pueden constituir la base para el desarrollo de aditivos para poder aplicar algún método de recuperación de petróleo, acorde a las características de nuestros yacimientos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como base material de este trabajo se ha utilizado la información recopilada y reflejada en numerosos informes de etapas y proyectos desarrollados en nuestro centro.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde hace más de 40 años, la industria Petrolera ha estado enfrascada en la investigación y desarrollos de varios procesos de Recuperación Mejorada (EOR) dado por la necesidad de producir el petróleo que no se ha podido extraer por los métodos convencionales. En general en nuestro país los procesos convencionales dejan entre 0.85 y 0.9 % de las reservas extraíbles. La explotación de estas fuentes de energía es de gran importancia para el desarrollo de la industria petrolera.

Los términos de Recuperación Mejorada (Asistida o Terciaria) de petróleo como aparecen indistintamente en la Literatura o expresada por los especialistas de Yacimientos, que suele



haber mucha confusión en la utilización del termino por algunos de nuestros especialistas en cuanto a los métodos a aplicar).

Dentro de los métodos de recuperación de petróleo se incluyen:

- **Los Métodos primarios:** Usan la energía natural del reservorio (movimiento de empuje por expansión de los líquidos y la roca, movimiento de empuje del gas en disolución, empuje del casquete de gas, el influjo natural del agua y la combinación del movimiento de los diferentes procesos de empujes ).

- **Métodos secundarios:** Se trata de mantener la energía del yacimiento con la inyección de fluidos( Gas, Agua y la combinación de Agua – Gas ).

Existen tres factores desde el punto de vista físico que tienen gran incidencia sobre los altos porcentajes de saturación de petróleo que se queda en el reservorio después de la aplicación de un método de recuperación primaria y secundaria:

1. Alta viscosidad del Petróleo.
2. Las fuerzas interfaciales (Tensiones).
3. La Heterogeneidad del Reservorio.

- **Métodos terciarios, Mejorada (RMP-EOR) o Asistida:** Los procesos de Recuperación mejorada incluyen todos los métodos que utilizan una fuente de energía externa y/o equipamiento para recuperar el petróleo que no puede ser producido económicamente por métodos convencionales. Estos procesos de recuperación mejorada (EOR) pueden ser clasificados de la siguiente Forma:

- **Métodos Térmicos:** Estimulación con Vapor, La Inyección de vapor, Inyección de agua caliente y la Combustión in situ.

- **Métodos Químicos:** Inyección de Polímero, Surfactantes, álcali y micela - polímero.

- **Métodos Miscibles:** Hidrocarburos, Gas, CO<sub>2</sub>, Nitrógeno y Vapex.

- **Otros tales como:** MEOR – recuperación mejorada por microorganismos, Perforación horizontal, etc.

Desde el año 1968 se comenzó en Cuba con las primeras experiencias de campo sobre Recuperación Secundaria, con la inyección de agua en el Yacimiento Jatibonico, la cual se mantiene hasta la fecha. Por este concepto se obtuvo un 14 % de recuperación adicional, para un 39 % de recuperación total. También se realizaron intentos de inyección de vapor.

En el Yacimiento Cristales, en los bloques del Cristales 79 y 77 y otros, se realizaron trabajos de inyección de agua con buenos resultados de incremento de la producción de petróleo (ver figura 1).

A escala de laboratorio se han realizados numerosas investigaciones con distintos productos, con resultados promisorios.

En el año 1989 fueron realizados experimentos con productos industriales fundamentalmente de la antigua URSS, agentes químicos (OP-10, OP-7, Karpatol, Poliácridamida y otros) que confirmaron su alta efectividad. Por diversas causas su generalización no se llevó a efecto. Los especialistas dedicados a estas investigaciones se dieron a la tarea de buscar y estudiar agentes químicos locales, preferiblemente los desechos de las principales industrias del país.

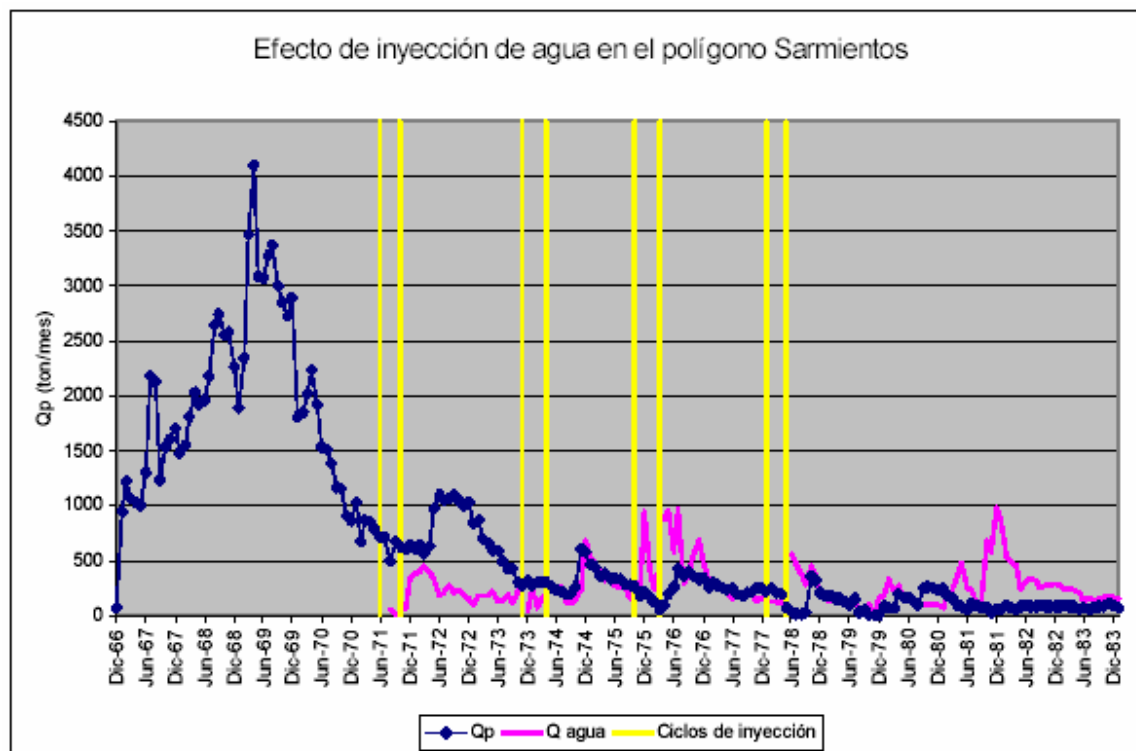


Figura 1. Resultados de la Inyección de Agua en el Bloque Sarmientos, yacimientos

Es por ello que a partir de 1990 los especialistas cubanos, realizaron un análisis y muestreo de agentes químicos, jaboncillo, fússel, licor negro entre otros, presentes en los residuales de los procesos tecnológicos de las diferentes ramas de la economía cubana. Se analizaron sus características, propiedades de filtración y reológicas en condiciones de yacencia, etc., obteniéndose de algunos de estos, en general, buenos resultados para su aplicación a escala de campo.

Como consecuencia del Período Especial muchas de estas Empresas Cubanas se vieron obligadas a cerrar y otras se asociaron a firmas extranjeras y cambiaron sus líneas de producción, por lo cual no se pudo continuar el desarrollo y aplicación de algunos de estos estudios.

Por estas fechas, de los años 1992-1998, cobraron fuerzas las investigaciones de RMP por el método MEOR, realizándose numerosas pruebas y evaluaciones de laboratorio y algunas pruebas a escala de campo con ciertos resultados como las obtenidas en un polígono del yacimiento Boca de Jaruco, otras se comenzaron en un polígono del yacimiento Jatibonico, en las cuales no se logró inyectar los volúmenes de inóculos necesarios, ni los nutrientes, así como hubo fallos en el control y seguimiento, quedando inconclusa estas pruebas, pero permitió ganar experiencias de diseño y escalado del proceso. En sentido general en este tema se logró una cooperación entre los Centros de Investigaciones del Petróleo Latinoamericanos (CODICID), lográndose obtener una metodología de evaluación y aplicación de MEOR CODICID y ganar en experiencia en estos tipos estudios.

Durante los años 1998 y 1999 se realizaron nuevos estudios para los yacimientos de Boca de Jaruco y de Pina con polímeros comerciales, obteniéndose buenos resultados con el Xantano.





Este estudio arrojó, la necesidad de obtener efectos combinados con surfactantes, quedando esta línea de trabajo inconclusa.

En el presente contamos con la documentación técnica, parte de la base material de laboratorio y la experiencia, tanto en las empresas como en el CEINPET, para acometer tareas y estudios de esta naturaleza. Se cuenta también con programas de simulación matemática de CMG, que permiten modelar los yacimientos y estudiar su comportamiento con distintas variantes de recuperación mejorada.

A partir de la colaboración con el Petroleum Recovery Institute (PRI) de Alberta, Canadá, se han llevado a cabo nuevos temas de investigación relacionados con los estudios de los Métodos Vapex, Bloque o Aislamiento de Agua con Geles y nuevos estudios Integrados de yacimientos, que en conjunto con CMG, el INTEVEP, CUPET y el CEINPET, han logrado materializar nuevos estudios para los yacimientos Varadero, Puerto Escondido, Boca de Jaruco y otros del Litoral Norte Habana- Matanzas.

Los procesos basados en el uso de solventes han tenido gran desarrollo en el mundo, en los últimos años, como métodos de recuperación de petróleo pesado. En estos procesos, el solvente se mezcla con el petróleo de capa, reduciendo su viscosidad e incrementando la producción total de petróleo del yacimiento. En algunos casos es posible el mejoramiento del petróleo in-situ por el efecto resultante de la precipitación de los asfaltenos.

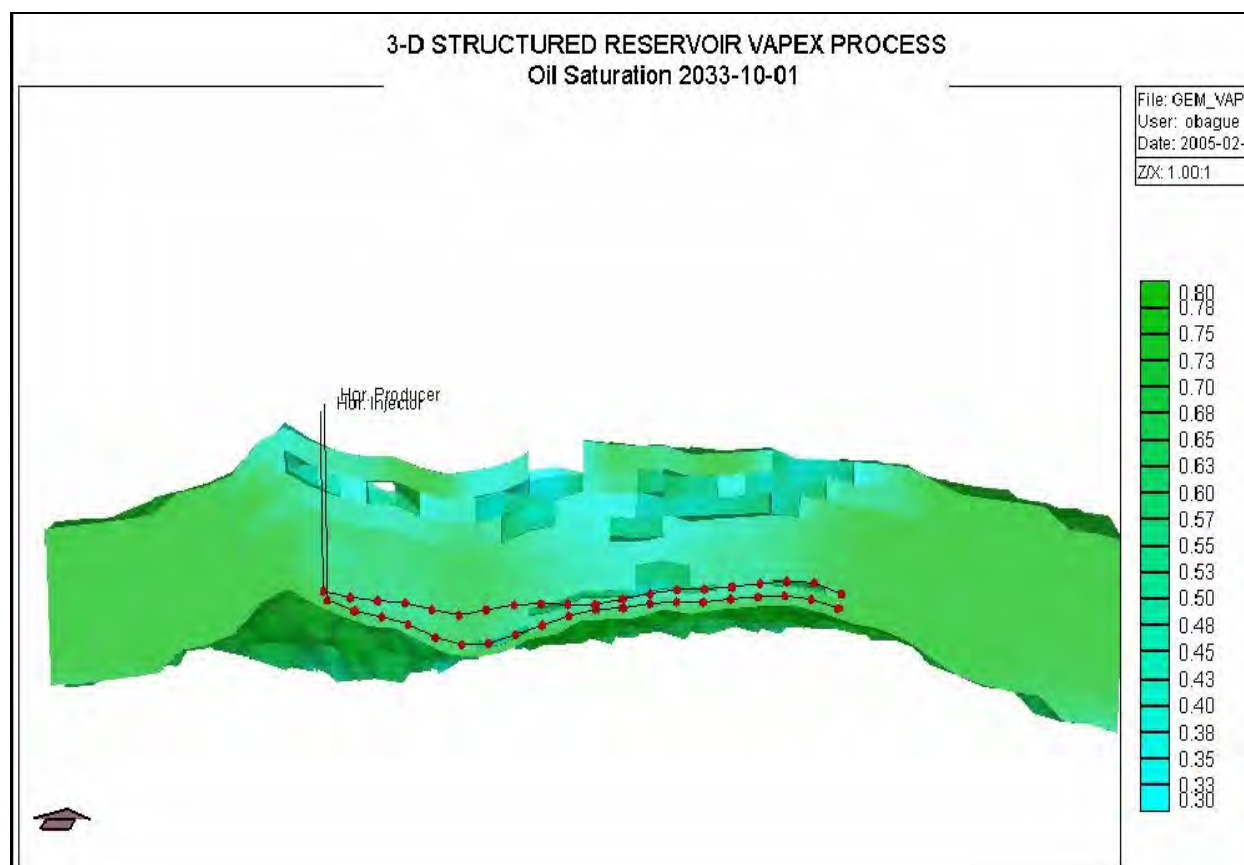


Figura 2. Esquema del proceso vapex.



El proceso VAPEX es uno de estos procesos. En la Figura 2 se muestra, esquemáticamente, en un corte, la sección transversal de un yacimiento. En este proceso, solventes de bajo peso molecular son inyectados en el yacimiento a través de un pozo inyector horizontal; el solvente, inicialmente, disuelve el petróleo cerca del pozo inyector hasta que el frente de petróleo diluido llega al pozo horizontal productor ubicado verticalmente debajo del pozo inyector. El volumen del solvente vaporizado aumenta paulatinamente hasta formar una cámara de vapores encima del pozo inyector; estos vapores, por difusión, se introducen en el petróleo pesado y lo disuelven; el petróleo disuelto fluye por gravedad hacia el pozo productor.

Algunos resultados recientes del proceso VAPEX desarrollados en modelos físicos en los laboratorios del Petroleum Recovery Institute (PRI), utilizando el petróleo de Varadero y al CO<sub>2</sub> como solvente gaseoso, han demostrado que la eficiencia de la recuperación es lo suficientemente alentadora como para justificar la continuidad de las investigaciones. A pesar de estos resultados alentadores, el proceso VAPEX solo ha sido probado en reservorios de arenas con presencia de petróleos desgasificados, a bajas presiones y temperaturas de yacencia. Considerando la profundidad de yacencia de nuestros reservorios, sus petróleos gasificados y un sistema fracturado poroso con baja permeabilidad de matriz, es de vital importancia demostrar que el proceso VAPEX es aplicable en estas condiciones y capaz de producir petróleo económicamente rentable. Con este objetivo se diseña el proyecto VARVAP, variante del proceso VAPEX que tiene en cuenta las particularidades de nuestros yacimientos y cuya finalidad es incrementar el coeficiente de recuperación final de petróleo en el yacimiento Varadero.

Los Estudios Integrados de Yacimientos que se ejecutan en la actualidad son una herramienta muy eficaz para valorar las posibles aplicaciones de Recuperaciones Mejoradas de Petróleo en los yacimientos ya que realizan una evaluación integral del modelo estático de los reservorios que se encuentran en una fase de desarrollo acelerado y que solo han sido parcialmente objeto de estudio en el marco de los programas de desarrollo, dejando listo el escenario para la evaluación del modelo dinámico, donde se obtienen los resultados finales de manejo total del yacimiento.

Los objetivos que se persiguen con estos estudios es actualizar la descripción geológica del depósito de los yacimientos en estudio y actualizar las estimaciones actuales de los recursos de hidrocarburos, las reservas y los potenciales de producción. Con estos resultados obtenemos un control total sobre el yacimiento y obtenemos una herramienta muy eficaz (un modelo computacional) para la aplicación y ensayo de pruebas y medidas antes de ejecutarlas en el reservorio.

Paralelamente a estos estudios Vapex se estudiaron el uso de solventes obtenidos a partir de desechos residuales de destilerías y refinerías, lográndose un comportamiento satisfactorio como productos capaces de interactuar sobre la mojabilidad de la roca, presentando un cierto comportamiento tensoactivo cercano a los comerciales. Estos productos al solubilizarse en la fase petróleo logran una significativa reducción de la viscosidad del petróleo, resultados que son alentadores de profundizar sus estudios para aplicaciones futuras.

Actualmente se han realizados y se estudian servicios y proyectos de Aislamiento o Bloqueo (control de fluidos) de agua y/o gas con la Inyección de Geles, una prueba de bloqueo de gas se realizó con en un pozo de Varadero, se realizaron trabajos de bloqueo de agua con Gel de Silicatos sellantes (nuestro) en pozos del Yacimiento Boca de Jaruco y se preparan nuevos estudios con Geles sellantes y no sellantes para aplicar en los pozos de Occidente y Centro.



Por último se han desarrollados nuevos estudios de RMP para el Yacimiento de Cristales donde se ha logrado realizar un estudio integral del área, seleccionándose un polígono para una prueba piloto, se logró seleccionar un método de RMP, propiciar la adquisición de nuevos conocimientos mediante los estudios de continuidad de capas productivas (ver figura 3), el montaje de nuevas técnicas de evaluación de productos tipo polímeros-surfactantes, simular diferentes variantes de aplicación del método, se obtuvo una propuesta de tecnología para este tipo de yacimientos. Actualmente en el marco del Proyecto RMP del Yacimiento Cristales, se está inyectando agua para optimizar el modelo y posteriormente aplicar el método.

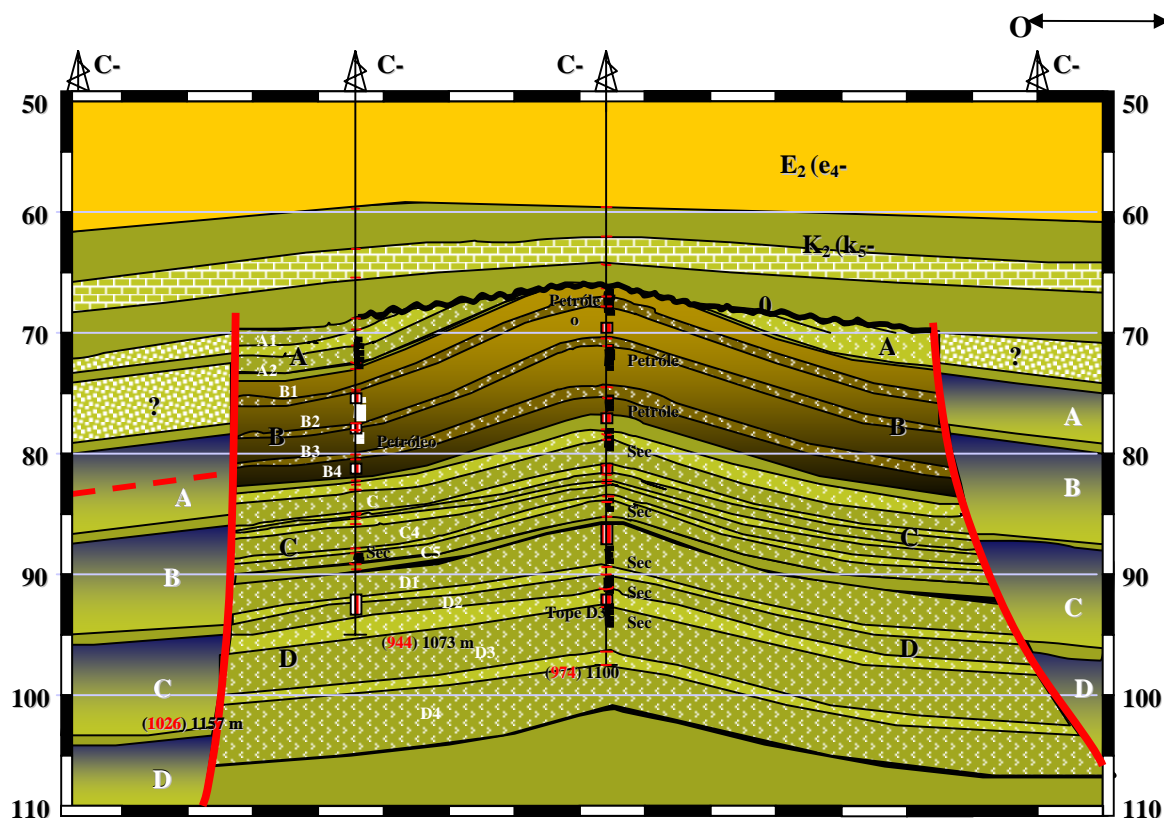


Figura 3. Perfil geológico Bloque Sur Yacimiento Cristales

Los pozos horizontales pueden considerarse como una herramienta de recuperación mejorada. En un yacimiento ya explotado, puede ser necesario desplazar los puntos de drenaje, de subir el nivel del punzado, de tratar de disminuir la producción de agua o de evitar un fenómeno de conificación no previsto. Un caño horizontal realizado en side track a partir de los pozos ya existentes puede ser una respuesta a esos problemas y prolongar la vida del campo o de mantener el nivel de producción en condiciones económicas muy atractivas con relación a otras técnicas de reentrada de pozos.

Por lo tanto, existe un gran margen de aplicación posible de los pozos horizontales y en estadios de desarrollo muy diferentes.

La perforación no convencional nos da la posibilidad de poner en un reservorio una línea continua o discontinua de zonas productivas, siguiendo no una trayectoria cualquiera; sino de orientación variable. La aplicación de la perforación de los pozos horizontales en nuestro país ha traído consigo un aumento considerable en los caudales de producción de petróleo, siendo



no menor de 5 veces mayor como promedio en comparación con los pozos verticales y dirigidos antes perforados.

De forma general estos diversos estudios de RMP desarrollados en nuestro país han permitido adquirir experiencia y nuevos conocimientos en estas temáticas, en el desarrollo y preparación de nuestros especialistas e investigadores en nuevas líneas de trabajos de tecnologías de punta para enfrentar nuevos retos y tareas de esta índole, que aún no son suficientes en nuestra actividad, que demandan la búsqueda de nuevos y mayores financiamientos, una mayor capacitación del personal, preparar nuevos especialistas, ganar una mayor concienciación política y apoyo al nivel de organización de la necesidad de desarrollar esta actividad, puesto que hay un gran futuro en la recuperación de nuestros yacimientos, lo que equivale al descubrimiento de nuevos.

## CONCLUSIONES

- Los estudios de RMP desarrollados en el país han permitido adquirir experiencia y nuevos conocimientos en estas temáticas.
- Se han logrado diversas alternativas de incremento de la producción de crudo por propuestas de RMP pendientes de introducción.
- Hay una necesidad de dar o buscar un mayor financiamiento para el desarrollo de estas líneas de trabajos.
- Hay necesidad de incrementar la capacitación del personal y la preparación de nuevos especialistas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Díaz, A., L. Díaz y O. Pascual, 1993. "Programa de Trabajo para las Investigaciones de Laboratorio con el caldo Xantano". La Habana, Archivo CEINPET.
- Díaz, A., L. Díaz, 1992. "Metodología de Trabajo para las investigaciones de laboratorio AKM (Simuladores de Medio Poroso)". La Habana, Archivo CEINPET.
- Gorifulin, Ch. S., U.M. Baikov y otros, 1981. "Experimentos de Campo sobre Inyección de residuos de destilación". Rusia, Neftianoe Jazistvo, No.8,
- CIED, PDVSA, 1998. "Recobro adicional de Petróleo por métodos convencionales". Caracas, Libro Texto de Curso de Postgrado, Segunda Edición.
- Trebbau, G., R. C. Tovar, 1998. "Con microorganismos mejoran la recuperación de pozos en declive de producción". Tulsa, Oklahoma, Nov/Dic Gas Journal Revista Latinoamericana, Vol.4.
- Slip Slider, H. C., 1996. Worldwide practical petroleum reservoir engineering methods. Tulsa, Oklahoma, Penn Well Publishing Company.
- Katz, I., F.M. Rasaev, J.C. Taisian, C.M. Kacumov, 1984. "Vías para el perfeccionamiento de los métodos de influencia a la capa con agentes químicos en los yacimientos Sangachali-More-Dubanni". Azerbaishan, Neftianoe Jazistvo. No.12.
- Díaz, L., A. Díaz, et al., 1998. "Caracterización Física del yacimiento Pina". La Habana, Informe de la etapa 2, proyecto 2121 (Recuperación Mejorada del Yacimiento Pina) Archivo del CEINPET.
- Mian, M. A., 1992. "Petroleum engineering handbook for the practicing engineer". Tulsa, Oklahoma, Penn Well Publishing Company, vol. 1 y 2.
- Sydansk, R. D., 1993. "Polymer-Enhanced Foams Part I, Laboratory Development and Evaluation". USA, SPE Advanced Tech. Series Vol. 2 No 2, Paper 25168,
- SPE. "Evaluación de polímeros". Agosto 1989.
- Mielnik, V., A. Díaz, L. Díaz y otros, 1991. "Investigaciones de laboratorio de las propiedades de filtración, reológicas y selectivas de las soluciones acuosas del jaboncillo". La Habana, Archivo CEINPET.
- Díaz, A., F. Echevarría y otros, 2002. "Informes de Investigaciones y estudios de RMP Yacimientos Cristales". La Habana, etapas del proyecto 3405, Archivo CEINPET.



## **OPTIMIZACION DE PRODUCCION DE POZOS EN EL ACTIVO INTEGRAL CANTARELL REGION MARINA. MEXICO**

Ricardo Luis Figueroa Pineda (1), Tibaldo Díaz, José Delgado, (2)

(1) PEMEX – Superintendencia de Operaciones de Pozos Sector Sur del Activo Integral Cantarell  
Calle 25 Edif. Administrativo de Cantarell Piso 4 Operaciones de Pozos Sector Sur. Ciudad del  
Carmen Campeche. México C.P. 24130 Email [rlfigueroap@pemex.pep.com](mailto:rlfigueroap@pemex.pep.com)

(2) SCHLUMBERGER – Data & Consulting Services, Calle 33A entre Calles 64 y 66 Colonia  
Lomas de Holche C.P. 24130 Ciudad del Carmen Campeche México Email: [jgdelgado@slb.com](mailto:jgdelgado@slb.com),  
[tdiaz@slb.com](mailto:tdiaz@slb.com)

El proyecto de optimización Cantarell 2004, esta siendo desarrollado por Schlumberger – DCS – Región Marina para la compañía PEMEX. El objetivo consiste en proveer asistencia técnica para incrementar la producción de aceite, mediante la optimización del campo, con el uso de la suite Pipesim y la experiencia del grupo de trabajo.

El campo Cantarell es el más grande de México y uno de los más importantes del mundo, su producción es de 2.1 MMBpd. Se encuentra ubicado en el Golfo de México a 80 Kms. al Noroeste de Ciudad del Carmen, Estado de Campeche. Casi la totalidad de los pozos producen por gas lift, la gravedad API del crudo es 21 y la energía del yacimiento esta siendo mantenida mediante la inyección de nitrógeno.

El estudio contempla el modelaje de 221 pozos activos y 25 plataformas de producción, distribuidas en cinco complejos. La optimización consiste en redistribuir el gas de inyección disponible con el fin de conseguir la máxima producción de aceite.

La metodología aplicada se basa en el uso del modulo Pipesim, para crear y ajustar los modelos de pozos, posteriormente se configura un modelo en red por plataforma (Pipesim Goal), dichos modelos se ajustan contra condiciones operativas reales. Realizado el ajuste de pozos y red se realiza el cálculo de la optimización, procediéndose a la aplicación en el campo.

Hasta la fecha (Enero 2005) se han simulado la totalidad de los pozos y se han implementado en campo 25 modelos de plataforma, obteniendo un incremento de aceite de 74620 Bpd producto de la optimización del gas, lo que representa un incremento del 3,5% respecto a la producción del campo.

Como conclusión se obtuvo que con la utilización de la Suite Pipesim (Propiedad de Schlumberger) y la metodología aplicada para optimizar los pozos en éste proyecto se logró reproducir las condiciones operativas del campo, con lo cual se logró incrementar la producción.





## ESTUDIO DE LA FRACTURACIÓN EN EL RESERVORIO CARBONÁTICO DE PUERTO ESCONDIDO.

**Ing. Dania Lourdes Brey del Rey MSc.**

Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) Washington # 169 esq. Churruca Cerro.  
[danial@ceinpet.cupet.cu](mailto:danial@ceinpet.cupet.cu)

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es la caracterización de los patrones de fracturación del reservorio carbonático del campo petrolífero de Puerto Escondido, utilizando la técnica de interpretación de perfiles de imágenes y su integración con los datos de núcleos.

Se realiza el análisis de las fracturas en los núcleos con respecto a su morfología, disposición y su relación con el tipo litológico. Estas son las características principales para tener en cuenta en la interpretación de los perfiles de imágenes.

Las fracturas fueron divididas para la interpretación en: fracturas conductivas concordantes y discordantes relacionadas con la disposición y buzamiento de las capas que componen la secuencia reservorio.

Como resultado del trabajo tenemos que las fracturas analizadas presentan una íntima relación con las fallas y los pliegues. La fracturación es más desarrollada en las secuencias que se encuentran debajo de las fallas y la dirección general es ENE-WSW, paralelo a la dirección de las fallas inversas y al eje del plegamiento.

### ABSTRACT

The objective of the present paper is the characterization of fracture patterns of carbonate reservoir of Puerto Escondido, employing the technique of image profiles interpretation and its integration of core data.

It is carried out the fracture analysis of cores, regarding to their morphology, arrangement and relationships with lithological types. These are the main characteristics to keep in mind for image profiles interpretation.

The fractures were divided in conductive concordants and discordants, related to the arrangement and dip of the layers that compose the reservoir sequence.

As result of this work, the analyzed fractures present intimate relationships with faults and folds. Fractures are more developed in sequences under faults and the general direction is ENE-WSW, parallel to inverse faults direction and to the fold axis.

### INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una síntesis de la tesis de maestría, la cual abarcó el estudio de la fracturación en el campo Puerto Escondido. El mismo fue basado en el análisis de las descripciones de las muestras de canal, núcleos (descripciones macroscópicas y microscópicas) de los pozos, así como en la interpretación de las imágenes de dos pozos (estudio de las fracturas, distribución y orientación) y su relación con el contexto tectónico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Existen varias metodologías para el estudio de los reservorios fracturados, en este trabajo se adoptó la Metodología de Reservorios Naturalmente Fracturados de Nelson 2001, donde se enmarcan los siguientes aspectos:

- Definición del modelo geológico que dio origen a los sistemas de fracturas.
- Definición de las propiedades de las fracturas que afectan el reservorio.
- Definición del tipo de interacción entre la matriz y las fracturas, para su futura clasificación.

A partir de esta metodología se tomó como base el mapa estructural del reservorio construido por la sísmica y los datos de 16 pozos perforados, se realizó el análisis petrográfico de secciones delgadas, descripciones de núcleos, que sirvieron para establecer el modelo de las fracturas, morfología, disposición dentro de las secuencias.

Se realizó el análisis de los perfiles eléctricos de los pozos y la construcción de mapas de propiedades petrofísicas. Fue determinada la geometría, dirección y buzamiento de las fracturas basada en la interpretación de los perfiles de imágenes de dos pozos (PE-12 y CAN-2X), con la utilización del GeoFarmer 4.0, así como la visita a los afloramientos en las regiones de Habana, Matanzas y Pinar del Río.

## RESULTADO Y DISCUSIÓN

El campo petrolífero de Puerto Escondido ubicado en la costa Norte de las regiones de Habana- Matanzas presenta como característica litológica la presencia de carbonatos (mudstone calcareo / wackestone) naturalmente fracturados con finas intercalaciones espaciadas y rítmicas de argilitas, que por zonas se presenta brechado por la intensa fracturación (Brey 1997), de edad Jurasico Superior-Neocomiano pertenecientes al Grupo Veloz (Fig.1).

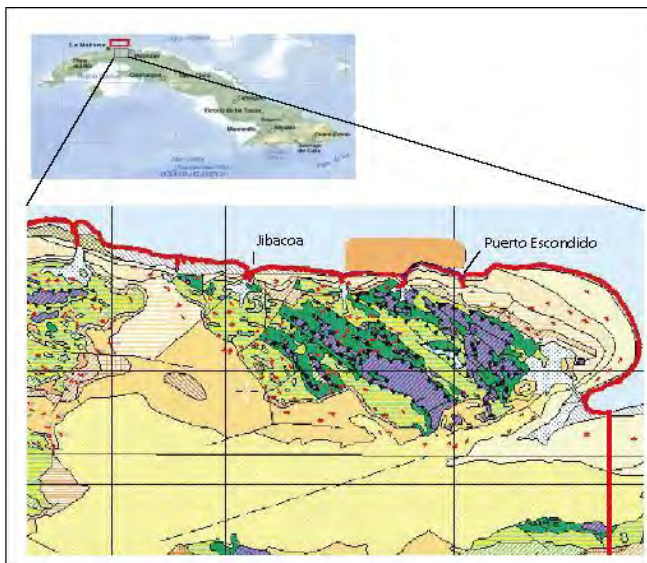


Fig. 1 Mapa de ubicación del campo Puerto Escondido en el contexto geológico-estructural.

Para su estudio el corte fue dividido en dos paquetes que comprenden la Formación Cifuentes: i) para la parte de aguas profundas (Jurasico Superior Tithoniano), ii) parte de aguas someras (Jurasico Superior Kimmeridgiano).

Para el estudio de las fracturas se tuvo en cuenta la distribución, morfología y la dirección espacial de las mismas.

A partir de la interpretación de las imágenes de los pozos PE-12 y Can-2x (Fig. 2), las fracturas fueron clasificadas en



conductivas concordantes y discordantes a la estratificación teniendo como base el análisis de las fracturas en los núcleos.

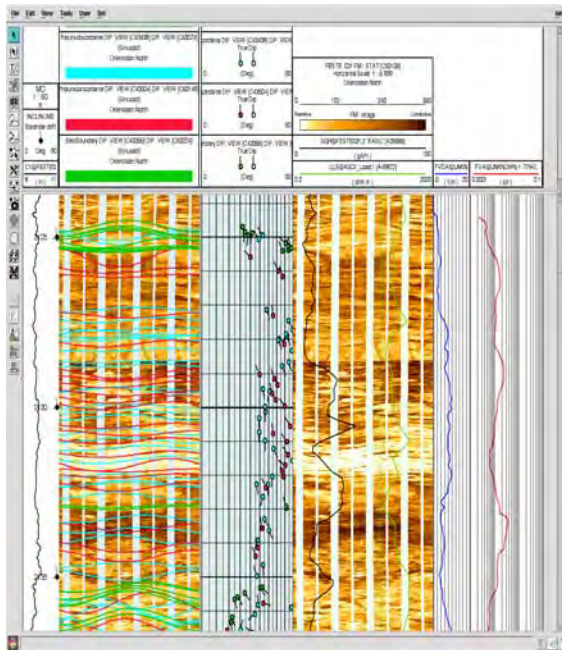


Fig. 2 Imagen interpretada de pozo Can -2x Primera columna el caliper del pozo, segunda columna imagen dinámica, tercera columna dirección y buzamiento de las fracturas y las capas, cuarta columna imagen estática con los perfiles de rayos gamma y de resistividad, quinta columna curva de densidad de fracturas y curva de abertura de las fracturas.

La interpretación fue realizada con el programa GeoFrame 4.0 en la estación de trabajo. Sobre las imágenes dinámicas y con el apoyo de la imagen estática, los perfiles de resistividad y de rayos gamma se obtuvieron como resultado la distribución, strike, azimuth, densidad, abertura y porosidad de las fracturas en los pozos. Se observó que el strike preferencial tenía dirección ENE-WSW, que las fracturas buzaban con ángulos entre  $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$  para el norte y para el sur (Fig.3).

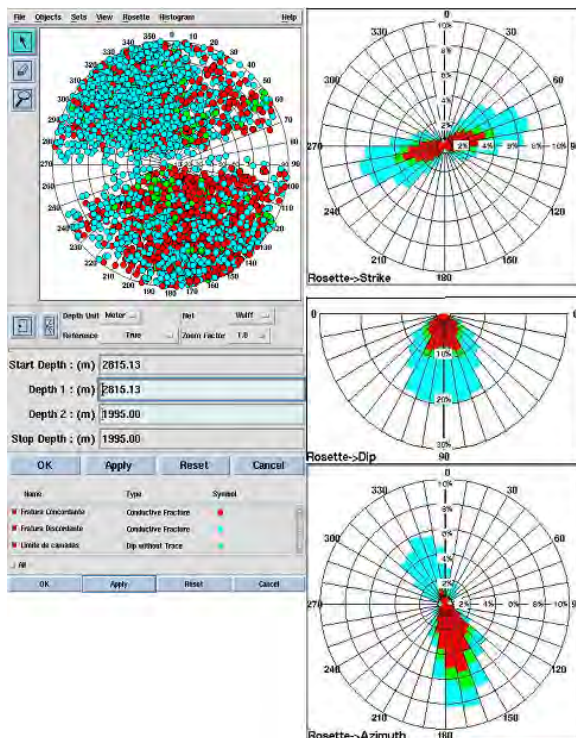


Fig. 3 Representación de las fracturas interpretadas Can-2X.

Estereograma de los polos de las fracturas e de la estratificación, rosetas de rumbo, buzamiento y azimuth de buzamiento de las fracturas. Fracturas discordantes (azul), fracturas concordantes (rojo), estratificación (verde).

Fueron procesados los resultados de la interpretación llegando a la conclusión de que la mayor densidad y abertura de las fracturas se encontraba en las capas que





corresponden a la Formación Cifuentes de aguas profundas (Fig.4). Atribuimos esto a la proximidad de esta capa a la zona de falla. En los perfiles de imágenes se pudo observar zonas de brechas, así como intervalos muy fracturados e impregnados.

A partir de los resultados de la interpretación de los perfiles de imágenes de los pozos Can-2X, Pe-12 y de los pozos Pe-8 y 9 de trabajos anteriores se construyó un mapa con base estructural por el tope del reservorio donde se pudo observar que la dirección de las fracturas es ESE-WNW en los pozos analizados y que ellas están íntimamente ligadas con los ejes de los pliegues (Fig.5).

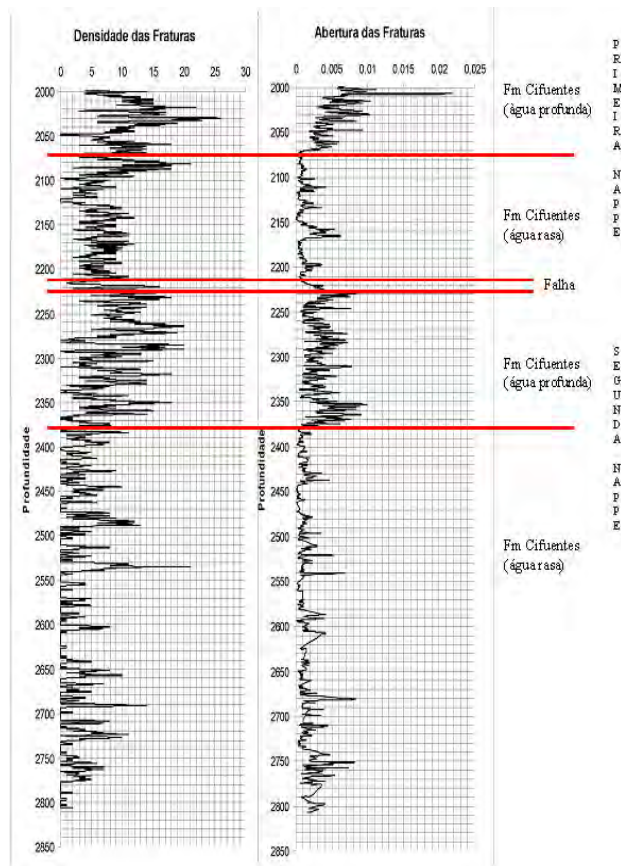


Fig. 4 Comparación de las curvas de densidad y abertura de las fracturas determinada por interpretación del perfil de imagen en el pozo Can-2X y su relación con las formaciones estratigráficas.

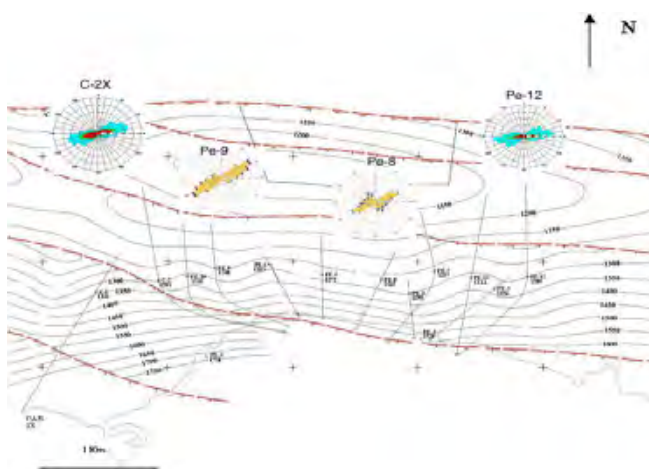


Fig. 5 Mapa estructural del tope del reservorio combinado con la interpretación de los perfiles de imágenes.

Como resultado de este estudio se estableció un modelo de fracturación atendiendo a la clasificación de Nelson 2001 (Fig.6). Las fracturas estudiadas pertenecen a las



de Tipo 3b, donde el  $\sigma_1$  es paralelo a la dirección del buzamiento,  $\sigma_2$  es paralelo al rumbo de la estratificación y  $\sigma_3$  es perpendicular a la estratificación.

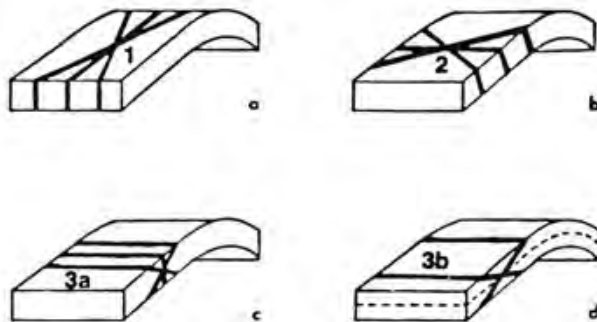


Fig. 6 Modelos de fracturas (Nelson 2001)

Con todos los datos obtenidos se analizó la relación existente de las fracturas, y el aporte de la matriz para establecer básicamente en que tipo de reservorio nos encontrábamos. Siguiendo la clasificación de Nelson 1992, el reservorio de Puerto Escondido se puede clasificar como de tipo II atendiendo a su relación matriz/fractura (Fig.7), reafirmando que la producción está dada por las fracturas con un aporte de las porosidades de la matriz (recristalización, vugular, móldica fundamentalmente).

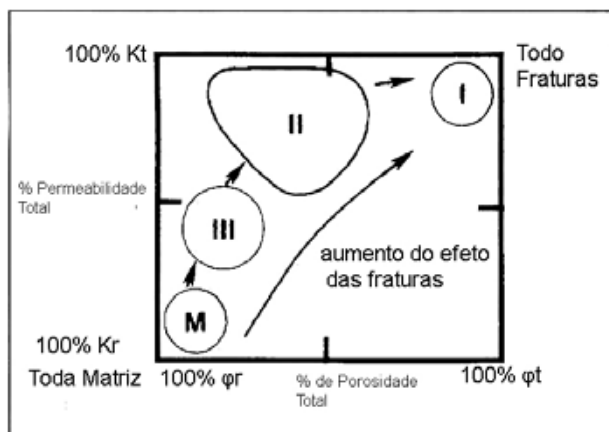


Fig. 7 Grafico donde se relaciona la porosidad/permeabilidad con la matriz/fractura.

## CONCLUSIONES

1. Se obtuvo como resultado la presencia de 4000 fracturas distribuidas con dirección Norte y Sur en dependencia de su posición con respecto a los pliegues atravesados por los pozos.





2. En los pozos interpretados las fracturas tienen rumbo ESE-WNW, observándose que buzcan para el norte y para el sur con ángulos entre  $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$ .
3. Todas las fracturas son de origen tectónica y están relacionadas con las fallas y el plegamiento.
4. La densidad y abertura de las fracturas aumenta en las capas que pertenecen a la Fm Cifuentes de aguas profundas que se encuentran próximo a la falla.
5. Se establece que las fracturas analizadas son del Tipo 3b atendiendo a la clasificación de Nelson 2001.
6. Siguiendo la clasificación de Nelson 1992, el reservorio de Puerto Escondido se puede clasificar como de tipo II atendiendo a su relación matriz/fractura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLANCO, S., BREY, D., FERNÁNDEZ, G., 1995.** Facies Jurásicas del paleo-margen de las Bahamas en Cuba Central. Memorias del IX Congreso Latinoamericano de Geología, Caracas.
- BREY, D., CASTRO, O., BLANCO, S., 1997:** Reservorios Carbonatados de la Unidad Tectono-Estratigráfica Placetas, Habana, Cuba, Archivo Técnico CEINPET.
- DUNHAM, S., 1962:** Classification The carbonate rock: in Scholle, P.A., 1978 Carbonate Rock Constituents Textures Cements and parasites. AAPG, Memoir 27, pag.171.
- NELSON, R. A., 1992:** Evaluating Fractured Reservoirs. Part 6 Geologia Methods Am. Assoc. Pet. Geol Bull. Special Publication, p. 326-330.
- NELSON, R.A., 2001:** Analysis Naturally Fractured Reservoirs. Houston, Gulf Publishing Co., 320 p.
- SCHLUMBERGER,** BorView User's Guide, Manual do GeoFrame 4.0, p. 95.



## RESULTADO DE LA EVALUACIÓN, DISEÑO Y APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS CON GELES INORGÁNICO PARA EL CONTROL DEL AGUA EN RESERVORIOS FRACTURADOS.

*Felix S. Echevarría, Miriam Legon, Ana Maria, Edgar George, Ariel Diaz.*

*Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), Washington No 169 ESQ. A Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Eléct echevarria@ceinpet.cupet.cu*

*Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), Washington No 169 ESQ. A Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Eléct miriam@ceinpet.cupet.cu*

*Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), Washington No 169 ESQ. A Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Eléct anamaria@ceinpet.cupet.cu*

### RESUMEN

Uno de los problemas que enfrenta la industria petrolera a nivel mundial, es la elevada producción de fluidos indeseados como son el agua y el gas. Esto trae como consecuencia una rápida declinación de la producción en los pozos y de un rápido aumento de los costos de producción por la necesidad de manejar y tratar grandes volúmenes de estos fluidos indeseados en la superficie, lo que hace necesario, tomar acciones para controlar la producción de estos fluidos. Esto se conoce mundialmente como "Procesos de control de agua y Gas".

Las tecnologías de geles y geles espumados, así como las espumas para el control del agua y el gas, surgen como alternativas tecnológicas para corregir estos problemas, pero requieren una selección adecuada de los pozos, un diagnóstico preciso del problema y un diseño adecuado de la formulación.

En los yacimientos cubanos por las características de sus colectores (Naturalmente Fracturados) el problema del agua siempre esta presente. La EPEP Occidente, durante la explotación de sus yacimientos, ha confrontado dificultades con la entrada de agua en los pozos, lo que ha conllevado una disminución de la producción de petróleo.

Partiendo de esta premisa, en el presente trabajo se muestra un resumen de los resultados obtenido en la Evaluación, Diseño y Aplicación de Tratamientos con Geles Inorgánico para el control del agua en Reservorios Fracturados a partir de productos nacionales obtenido en investigaciones realizadas en el CEINPET, lo cual constituye una fuente para la introducción de esta tecnología en los pozos de petróleo.

### ABSTRACT

One of the problems that face the oil industry at world level is the high production of undesirable flowing, like water and gas. This results in a quick decline of the production in the wells and an increase of the production costs for the necessity of to manage and to treat big volumes of these undesirable fluids in the surface. That makes necessary to take actions for controlling the production of these fluids. This is known worldwide as "Conformance Technology".

The technologies of gels and foamed gels, as well as the foams for the water and gas control appeared as alternative technological to correct these problems, but they require an appropriate selection of the wells, a precise diagnosis of the problem and an appropriate design of the formulation.

In the Cuban reservoirs, for the characteristics of their collectors (Naturally Fractured) the problem of the water always is present. The Oil Enterprise EPEP Occidente, during the exploitation of their reservoirs, has confronted difficulties with the entrance of water in the wells. These situations have provoked a petroleum production decrease.

This work show a summary of the results obtained in the Evaluation, Design and Application of Treatments with Inorganic Gels for the control of the water in Fractured Reservoirs, starting from national products obtained in investigations carried out in the CEINPET.



## ANTECEDENTES

En el Yacimiento Boca de Jaruco se han empleado en los últimos años trabajos de aislamiento de agua, utilizando lechadas de baja densidad con lodo bentonítico y lechada pura; pero los resultados no han sido totalmente satisfactorios, pues se ha producido la invasión por agua de la zona superior punzada en un tiempo muy breve.

La poca efectividad del trabajo se fundamenta en que con este método se obtiene una baja penetración para el aislamiento por el contenido de sólidos de la lechada, alto filtrado y poco volumen de inyección por la posibilidad del sellaje prematuro por deshidratación de la lechada.

Partiendo de esta premisa y de la información obtenida de la aplicación de geles por el PRI, INTEVEP-PDVSA y otros, se ha trabajado para el empleo de tecnología de inyección de un gel inorgánico con productos nacionales obtenido en investigaciones realizadas en el CEINPET, adaptando la tecnología a las condiciones del pozo seleccionado en el Yacimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

De la información obtenida del Proyecto 2101 del CEINPET (Legón, M., Echevarría, F), Proyecto PRI sobre Gel Foam (Wassmuth ), aplicación de geles por Intevep (Hernández, M., Romero y Hernández De Carrasco ) y otras referencias (Seright, R.S ), se selecciona la metodología de laboratorio, selección de pozos candidatos y tecnología de aplicación.

Para las evaluaciones del gel dentro del medio poroso se utilizó:

- Simuladores físicos de medios porosos (AKM) de fabricación soviética.
- Muestras de roca no consolidada (granulometría  $>0.71$  y  $>0.8$  mm) del afloramiento de Loma Bonachea pertenecientes a la formación Cifuentes. Litología: Calizas.
- Modelo de petróleo pesado, compósito Puerto escondido, con viscosidad a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  de 83.5 cP.
- Agua de capa de los pozos productores de Puerto Escondido.
- Gel de silicato modificado con agua de mar.

El diseño de un tratamiento con geles involucra la selección de la formulación a utilizar, el volumen de solución a ser inyectada y la técnica de colocación del tratamiento.

Basados en las experiencias de la aplicación del Gel inorgánico Gel-Si en los pozos BJ-241 y LPC-2, se realizan modificaciones a la formulación y al método de preparación para mejorar la aplicación tecnológica, efectuándose mediciones de reología según API, fuerza de Gel por método de Sydanks-PRI-INTEVEP-CEINPET a través de ensayos de botellas fuera del medio poroso.

Se realizan además pruebas de simulación del desplazamiento en medio poroso con las condiciones de pozo, para obtener el factor de resistencia como indicador de la efectividad esperada en la aplicación tecnológica que condiciona la metodología de aplicación.

Los geles se preparan con agua dulce, silicato de sodio, agua de mar modificada con alumbre.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo del tratamiento es el aislamiento o bloqueo total del intervalo en el pozo, que produce un alto porcentaje de agua.

Se evaluaron distintas formulaciones de Gel-Si y modos de preparación para determinar las más adecuadas. Una vez preparado el gel se observa periódicamente para determinar el tiempo de gelificación y la consistencia del gel mediante la prueba de la "botella". La consistencia se define como la dureza, elasticidad y movilidad del gel formado. Esta consistencia se expresa mediante el Código de Sydanks modificado que se muestra en la Tabla I.

El tiempo de gelificación inicial es el tiempo transcurrido desde que se prepara el gel hasta que se observa una película elástica en las paredes del recipiente.

El tiempo de gelificación final es el tiempo transcurrido desde que se prepara el gel hasta que no se observa más incremento de la consistencia del gel.

### Resultados de las evaluaciones fuera del medio poroso "Ensayos de Botellas"

En la Tabla II se muestran los resultados de la evaluación del Gel-Si y el Gel-Si modificado a temperatura ambiente y a 50 °C

Tabla II Variación de la consistencia con el tiempo de Gel-SiRS y Gel-SiRSM.

Tiempo (Horas)	Gel – Si modificado			
	27°C		50°C	
	Código		Código	
	Número	Alfabético	Número	Alfabético
0	0	A	0	A
1	0	A	2	B
2	2	B	6	D
3	2	B	8	E
4	2	B	12	G
5	2	B	16	I
6	2	B	16	I
7	2	B	16	I
48	16	I	16	I
72	16	I	16	I

Tabla III Tiempos de gelificación y consistencia final de Gel-SiRS y Gel-SiRSM.

Tipo De Gel	Temperatura (°C)	Tiempo de Gel Inicial (horas)	Tiempo de Gel Final (horas)	Consistencia Final	
				Número	Alfabético
Gel – Si RS	50	2	>8	16	I
GEI – Si RSM	50	1	5	16	I

En la figura 1 del anexo se representa la variación de la consistencia con el tiempo del Gel-Si RSM, propuesta para los pozos BJ-280 y BJ-802.



## Pruebas de Desplazamiento.

Las evaluaciones dentro del medio poroso reciben el nombre de pruebas de desplazamiento y consisten en evaluar el cambio de permeabilidad que ocasiona el gel en un núcleo saturado con los fluidos del yacimiento tratando de simular las condiciones de este. Los experimentos se llevan a cabo a las presiones de confinamiento y a la temperatura de capa.

La permeabilidad (K) se calculó a partir de la Ley de Darcy:

$$K = \frac{\mu [\text{cp}] L[\text{cm}] Q[\text{cm}^3/\text{s}]}{A[\text{cm}^2] \Delta P[\text{atm}]}$$

Tabla IV. Evaluación de la disminución de la permeabilidad del agua durante la inyección del gel de silicato.

Exp.	Perm. de Agua Inicial	Perm. Petróleo a Swr	Perm. Gel a Vrp y Swr	Perm. Agua para Vrp	Perm. Agua después de inyectado el Gel	Disminución de perm. Ki
Unidades	Kri1 (mD)	Kro (mD)	Kg (mD)	Kri2 (mD)	Krf' (mD)	%
1B-1	3781,0	6617,0	21,801	463,638	0,381	99,918
1B-2	188,07	183,85	8,37	195,37	52,96	72,892
1A -1	5,83	204,81	9,974	179,88	0,001	99,999

Como puede verse en la tabla IV, en todos los casos, obtenemos una reducción significativa de la permeabilidad, que varía entre el 72.9% al 99.9 %, lo que indica que el producto cumplió su objetivo de disminuir la movilidad del agua de inyección al elevar la viscosidad de la misma, lográndose el deseado efecto de aislamiento o bloqueo.

El gradiente de presión es otro parámetro de importancia que nos permite valorar la estabilidad, consistencia o fuerza de Gel del gel, el cuál se valoró en los tres casos, obteniéndose los valores que se muestran en la tabla V.

Tabla V. Resultados del gradiente de presión.

Experimento	P1	P2	$\Delta P$	L	Gradiente de Presión	Gradiente de Presión
	atm.	atm.	atm.	m	atm./m	KPa/m
1B-1	9.410	0.000	9.410	0.058	163.368	16549.184
1B-2	6.000	0.250	5.750	0.062	93.344	9455.763
1A-1	140.000	0.000	140.000	0.061	2295.082	232491.803

Los resultados obtenidos en la tabla anterior demuestran que el gel presenta una fuerte consistencia y estabilidad ya que resiste los altos de gradiente de presión establecidos en los simuladores físicos de capa.





En la Tabla VI aparecen los parámetros Fr -Factor de resistencia y Frr -Factor de resistencia residual a diferentes velocidades de flujo (Dada por sus relaciones de movilidad con la inyección del gel de silicato a partir de la movilidad de los fluidos inyectados) por los cuales se logra evaluar el mecanismo de aislamiento.

Tabla VI. Fr -Factor de resistencia y Frr -Factor de resistencia residual a diferentes velocidades de flujo.

Experimento 1A-1				
Velocidad de flujo	Fr		Frr	
cm <sup>3</sup> /seg	(Kp/μp)/ (Kg/μg)	(Ka/μα)/ (Kg/μg)	(Kp/μp)/ (Kp'/μp')	(Ka/μα)/ (Ka'/μα')
0.00048	0.958	57.943	10683.333	9369.000
0.0044	1.347	130.118	44438.462	61318.182
0.043	0.393	28.598	146292.86	149900.00

En la tabla VI se observa que los valores de Fr son altos, mientras más alto es el Fr, más se disminuye la permeabilidad del medio al fluido (mayor bloqueo), de ahí la característica altamente sellantes que presentan los geles evaluados.

Se estudió la cinética de la gelificación en el medio poroso la cual se muestra en las Fig.2 y 3.

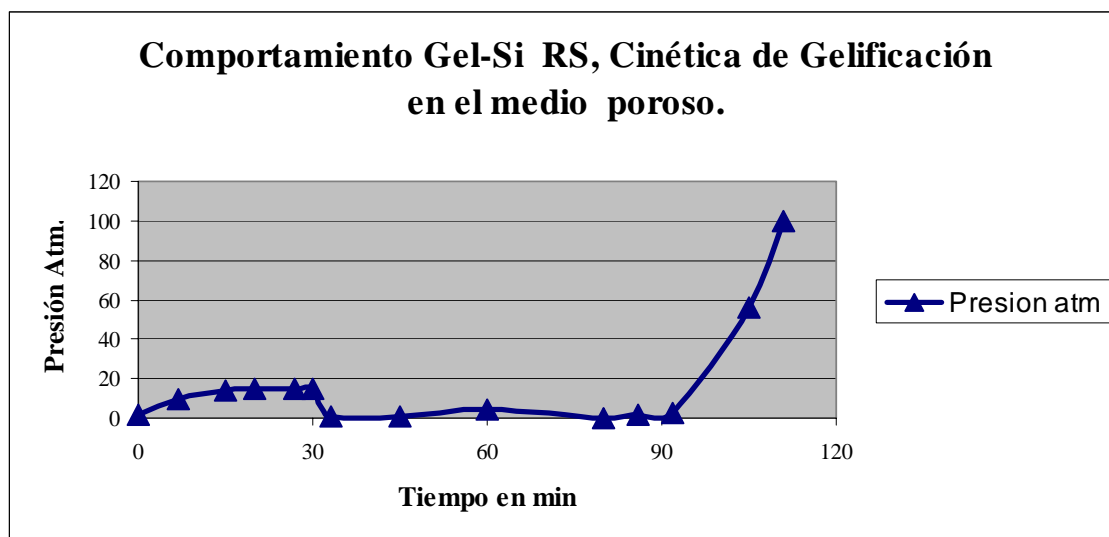


Fig. 2. Gelificación en medio poroso del Gel-Si RS

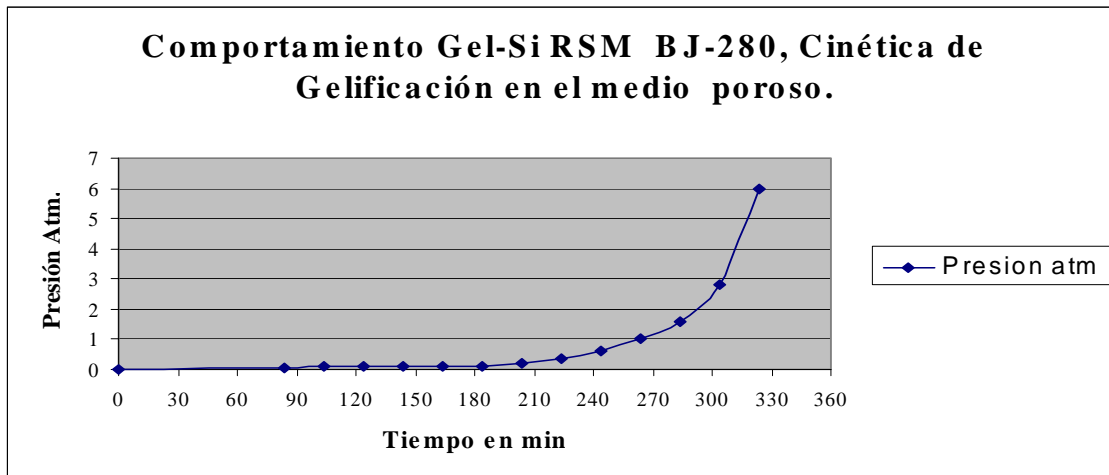


Fig. 3. Gelificación en medio poroso del Gel-Si RSM

Como se observa en las Figuras 2 y 3 en el medio poroso el Gel-Si RS presenta un tiempo de gelificación más corto y una velocidad de incremento mayor que el Ge-Si RSM por lo que es más conveniente para la aplicación del tratamiento en un pozo.

#### Diseño de tratamiento.

El volumen todavía es un problema por resolver, la experiencia de campo dicta la pauta y el diseño puede cambiar durante la operación, según la respuesta del pozo.

El Método basado en la sección de un determinado radio de penetración.

$$VSG = 0.56 \times hp \times \phi \times rp^2 \times sw$$

Donde:

VSG = Volumen de solución de gelificante, barriles.

0.56= Factor de conversión de pies cúbico a barriles multiplicado por  $\pi$ .

hp= Espesor del intervalo punzado, pies

rp<sup>2</sup> = Radio de penetración del tratamiento, pies

sw= Saturación de agua presente en los alrededores del pozo, Fracción.

Es uno de lo más utilizado, si bien el cálculo no asume la geometría real de flujo en los casos de tratamientos en fracturas, la selección de un determinado radio de penetración es un técnica muy común y que ha dado buenos resultados. Por lo general para tratar este tipo de problema se selecciona un radio de penetración igual o mayor a 15 pies.



En la figura 4 se muestra el esquema de la instalación de superficie propuesta para hacer la inyección del Gel-Si RSM en el pozo y la figura 5 se muestra el gráfico del comportamiento del Gel-Si RSM durante la inyección en el pozo BJ-802.

Resultado del comportamiento del Gel-Si RSM en los trabajos de aislamiento de agua realizados en los pozos BJ-280 y BJ-327.

En las tablas VII y VIII del anexo se muestran los resultados del diseño de tratamiento aplicado en los pozos BJ-280 y BJ-327. En el pozo BJ-280 se utilizó un volumen de Gel-Si RSM de 106 m<sup>3</sup>, obteniéndose como resultado un bloqueo total de la zona tratada ya que al poner en producción la zona superior no se registro entrada de agua, quedando la zona en producción de gas solamente.

En el caso del pozo BJ-327 se utilizó un volumen de Gel-Si RSM de 80 m<sup>3</sup>, obteniéndose como resultado un bloqueo parcial de la zona tratada ya que al poner en producción la zona superior se registro una disminución en el % entrada de agua, quedando la zona en producción de petróleo y agua.

Estos resultados indican la necesidad de seleccionar cuidadosamente los volúmenes de geles a utilizar en los tratamientos.

En las figuras 6 y 7 del anexo se muestran el comportamiento de las presiones del Gel-Si RSM durante la inyección del tratamiento en los pozos BJ-280 Y BJ-327. Este comportamiento de las presiones indica la posibilidad de inyectar volúmenes de tratamiento mayores a los utilizados en estos pozos, pero se debe evaluar cuidadosamente también el comportamiento de los factores de resistencia para garantizar el éxito del tratamiento de control de fluidos en reservorios fracturados.

## CONCLUSIONES

1. La disminución de la permeabilidad obtenida por el Gel – Si RSM es significativa lográndose el deseado efecto de bloqueo o aislamiento de agua.
2. Al lograr la mayor diferencia de  $F_r$  y  $F_{rr}$  del agua con respecto  $F_r$  y  $F_{rr}$  del petróleo se logra un mayor efecto de bloqueo o aislamiento con la aplicación de dicho producto
3. Los valores altos de  $F_{rr}$  obtenidos, indican el carácter sellante de este tipo de Gel.
4. Se determinó en las dos pruebas de desplazamiento, que el sistema Gel-Si es mecánicamente resistente a las condiciones de diferencial de presión o “Drawdown”, presentes en el yacimiento.
5. La formulación Gel-Si RSM es la más adecuada para ser utilizada en la Prueba Piloto de control de agua en el pozo BJ-280, por el nivel de bloqueo de agua, por la resistencia a los diferenciales de presión que posee y por sus tiempos de gelificación más largos que facilitan la tecnología de aplicación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Hernández, M., Romero, C., Mejías, F., Alvarez, J. “Tecnologías para Control de Agua y Gas en Producción de Petróleo”: Geles, Espumas y Geles Espumados. PDVSA.



- Hernández De Carrasco, Maria Isabel; Prado Paez, Mariana . Informe técnico del diseño de la prueba piloto de inyección de Geles para el control de gas en el pozo VD 136 en el campo Varadero, PDVSA y colaborador CUPET.
- Legón, M., Echevarría, F., 1998. Informe técnico del Proyecto 2101 Fluidos para aislamiento de agua.,CEINPET.
- Seright, R.S, 1996 "A Review of Gel Placement Concepts". New México. Petroleum Recovery Research Center.
- Wassmuth, Fred, Hodgins, Laurie, 1998. "Near Well Treatment to Reduce Gas Channeling . A Gel Foam Application, PRI.

## ANEXO

Tabla I. Códigos de fuerza de gel. Código de Sydanks modificado

Código alfabético	Código numérico	Descripción del código
A	0	No se forma gel detectable: El gel parece tener la misma viscosidad (fluidez) que la solución original del polímero
B	2	Gel altamente fluido: El gel parece ligeramente más viscoso que la solución original de polímero.
C	4	Gel fluido: La mayor parte del gel detectado fluye hacia la tapa cuando se realiza la inversión
D	6	Gel con fluido moderado: Una pequeña porción del gel (alrededor de 5-15%) no fluye hacia la tapa cuando se invierte el frasco. Caracterizado por un gel en forma de lengua, después que cuelga, puede volver hacia atrás parando lentamente el frasco
E	8	Gel escasamente fluido: El gel fluye lentamente hacia la tapa y /o una porción significativa (>15%) del gel no fluye cuando se invierte
F	10	Gel que no fluye altamente deformable: El gel no fluye cuando se invierte ( el gel cae hacia la tapa)
G	12	Gel que no fluye moderadamente deformable: El gel fluye solo hasta la mitad del camino hacia la tapa cuando se invierte
H	14	Gel que no fluye ligeramente deformable: Solamente la superficie del gel se deforma ligeramente cuando se invierte
I	16	Gel rígido: No hay deformación de la superficie del gel cuando se invierte
J	18	Gel sonoro: Se puede sentir una especie de vibración mecánica cuando se golpea el frasco

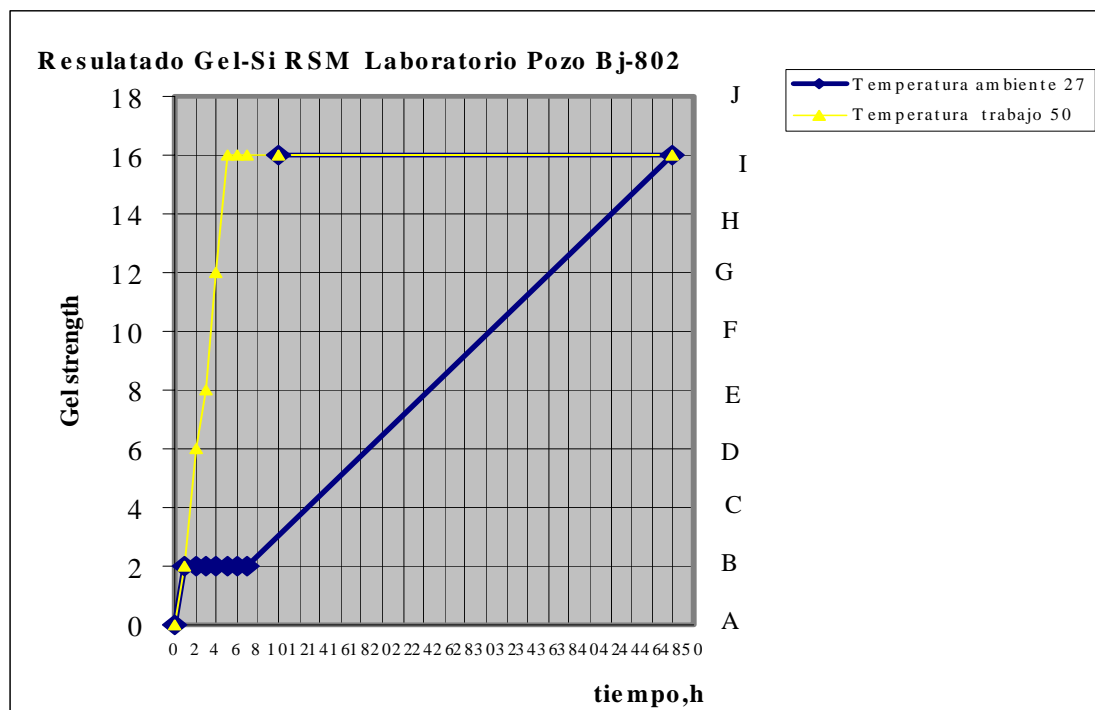


Fig. 1 Variación de la consistencia con el tiempo del Gel-Si RSM.

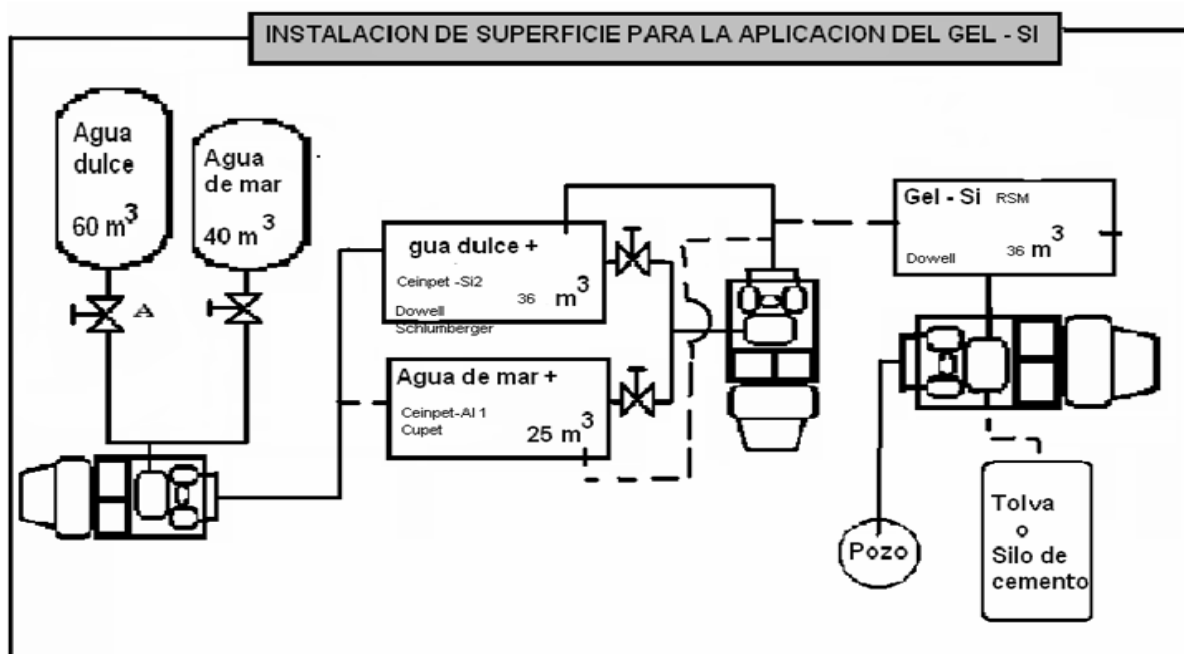


Fig. 4 Instalación de superficie



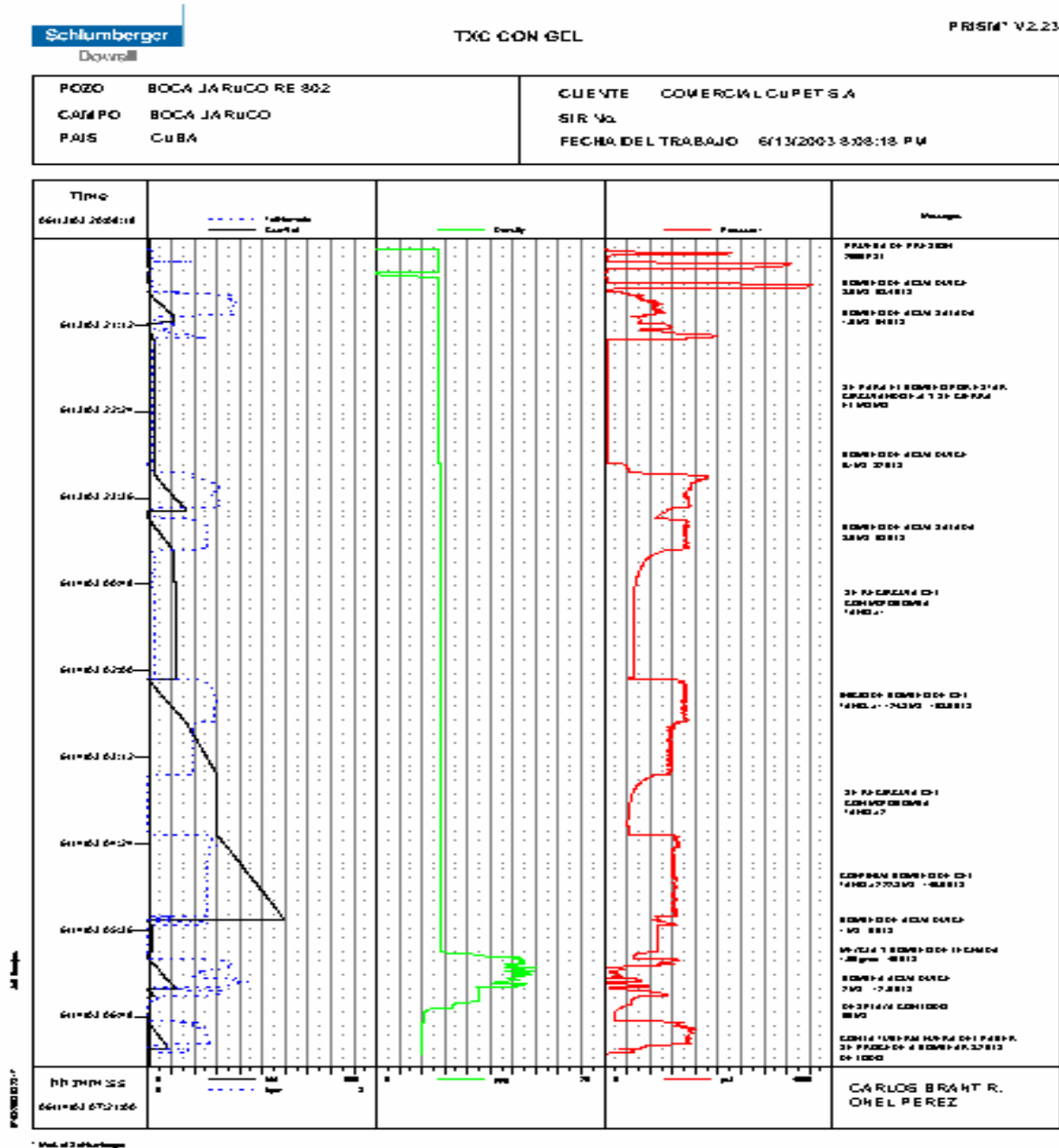


Fig. 5 .Comportamiento del Gel-SIRSM durante la inyección al pozo Bj-802.



Tabla VII. Tratamiento aplicado con GeL-Si RSM en el pozo Bj-280.

<b>Aislamiento Pozo BJ-280</b>			
Fluidos	Volumen	Tiempo	Caudal
	(m3)	(min)	(m3/min)
Preflujo Agua de Mar	4	16.00	0.25
Inyección del Gel-Si	106	339.00	0.31
Inyección Separador Agua	0.5	3.00	0.17
Inyección L. Extendidad	5	17.00	0.29
Desplazamiento	6	15.00	0.40

Tabla VIII. Tratamiento aplicado con GeL-Si RSM en el pozo Bj-327.

<b>Aislamiento Pozo BJ-327</b>			
Fluidos	Volumen	Tiempo	Caudal
	(m3)	(min)	(m3/min)
Preflujo Agua de Mar	4	9.00	0.44
Inyección del Gel-Si	80	156.00	0.51
Inyección Separador Agua	0.5	3.00	0.17
Inyección L. Extendidad	6	22.00	0.27
Desplazamiento	7.5	25.00	0.30

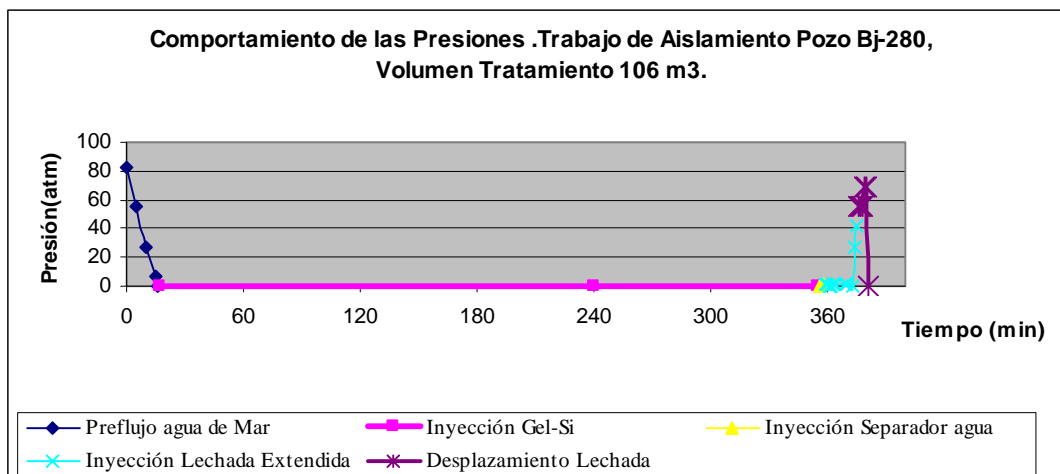


Fig. 6 .Comportamiento de las presiones durante la inyección del Gel-SiRSM en el pozo BJ-280.

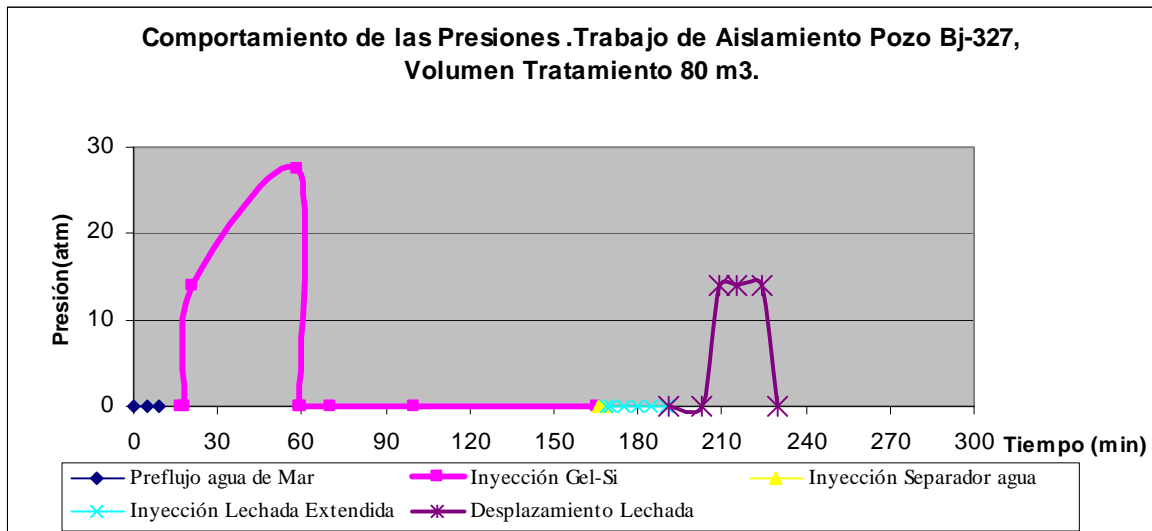


Fig. 6 .Comportamiento de las presiones durante la inyección del Gel-SI RSM en el pozo Bj-327.

#### Nomenclatura

$K_w$  Permeabilidad de fase, al agua

$S_{wr}$  Saturación residual de agua

$V_{rp}$  Petróleo remanente en el núcleo

$K_p$ - Permeabilidad al petróleo, mD

$K_g$ - Permeabilidad al gel, mD

$\mu_p$  – Viscosidad del modelo de petróleo (cP)

$\mu_g$  - Viscosidad del gel, (cP).

$K_p/\mu_p$  – Movilidad del petróleo, (mD/cP).

$K_a/\mu_a$  – Movilidad del agua, (mD/cP).

$K_g/\mu_g$  – Movilidad del gel,(mD/cP).

$(K_p/\mu_p)/ (K_a/\mu_a)$  – Relación de movilidad del petróleo con respecto a la del agua

$(K_p/\mu_p)/ (K_g/\mu_g)$ -Relación de movilidad del petróleo con respecto a la del gel (Fr- Factor de Resistencia)

$(K_p/\mu_p)/ (K_a'/\mu_a')$  - Relación de movilidad del petróleo con respecto a la del agua después de la inyección del producto

$(K_a/\mu_a)/ (K_a'/\mu_a')$  - Relación de movilidad del agua antes y después de la inyección del producto (Frr-Factor de Resistencia Residual.)



## **INVESTIGACIÓN DE PRODUCTOS Y DISEÑO DE GELES PARA EL AISLAMIENTO DE AGUA O GAS COMO MÉTODO PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO**

Miriam Legón, Ana Maria Rodríguez, Alicia Creme, Felix Echevarria, Edgar George. Regla Antolín, Hernán Velásquez, Ramón Acosta

*(1) Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington # 169, Cerro. Ciudad de la Habana.  
Teléfonos: 57 - 7301, 57 - 7329. Fax: 66 -6021, E - mail: miriam@ceinpet.cupet.cu.*

Durante la explotación de pozos en Cuba se ha producido en algunos yacimientos el incremento paulatino de la cantidad de agua o gas junto al petróleo, disminuyendo la producción de petróleo e incrementado los costos de producción.

Para reducir la producción de agua se ha empleado el aislamiento mediante cementaciones a presión con lechadas de bajo contenido de sólidos, con resultados satisfactorios en el Yac Boca de Jaruco, pero el empleo de geles o métodos combinados constituyen una opción más moderna y eficaz para el aislamiento de agua o gas con condiciones técnicas complejas

En el Mundo se dedican grandes esfuerzos al perfeccionamiento u obtención de productos y metodologías que permitan la formulación de geles cuyo know how y componentes son altamente cotizados en el mercado internacional.

El trabajo realizado constituye la investigación de productos nacionales y su mecanismo de acción y la obtención del primer Gel inorgánico cubano, que ha sido aplicado ya en 4 pozos. La aplicación del gel en un pozo se realizó en su totalidad con productos cubanos que importaron 1780.00 en MN y 2002.00 en USD, mientras que la aplicación realizada con un gel extranjero costó en productos más de 100000 USD lo que significa un ahorro de 98000 USD sólo en productos químicos y Know How por pozo.

El diseño del primer gel elaborado totalmente con productos cubanos, permite la tramitación de patente y la posesión del Know How para la aplicación de este sistema.

La aplicación de geles para el aislamiento de agua o gas constituye una tecnología de punta para el incremento de la producción de petróleo.



## NUEVO INHIBIDOR DE CORROSIÓN PARA ESTIMULACION DE RESERVORIOS. EVALUACIÓN DE SU EFECTIVIDAD

**Elsa Martín Domínguez, Caridad. Ritoles Valiente, Félix Echevarría Pestana, Tomasa Valdés García, Mercedes Balmayor Moure, , Lourdes Lesmes Garrido, Ada Maria Casal Viqueira, Lourdes Gutiérrez Calderón, Amalia Quesada Quintero, sabel. López Peláez, Mercedes Laza Noa, Beatriz Spengler Fernández.**

*Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington 169 esquina a Churrucá, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: [elsa@ceinpet.cupet.cu](mailto:elsa@ceinpet.cupet.cu).*

### RESUMEN

Actualmente en la mayoría de los tratamientos de estimulación ácida de reservorios que se realizan en nuestro país, para restablecer la permeabilidad efectiva de la formación y aumentar la producción del petróleo, se emplean inhibidores de la corrosión comerciales, los cuales se adquieren por vía de la importación, oscilando sus precios sobre los 14000-17000 USD/t. De aquí la gran importancia para la economía cubana de poder obtener un aditivo inhibidor de la corrosión nacional, que posibilite disminuir importaciones y nos permitan la liberación del mercado externo.

El programa de investigación se planificó en tres direcciones principales de trabajo: definición del procedimiento de obtención del inhibidor de corrosión nacional, evaluación de las características protectoras de corrosión del inhibidor en las superficies metálicas y evaluación en la formulación ácida frente a la interacción roca – fluido.

Para valorar la acción inhibidora de los productos obtenidos se utiliza la técnica electroquímica de avanzada Bubble Test que permitió seleccionar al de mejores cualidades protectoras. Adicionalmente a esta técnica se realizó el ensayo gravimétrico para completar los resultados.

Con la finalidad de conocer el comportamiento del producto frente a los diversos contaminantes que existen en la formación se evalúa su estabilidad frente a los mismos.

Se presenta un estudio estructural utilizando la espectroscopia FTIR en el rango de 400 – 4000 cm<sup>-1</sup>. Se utilizan métodos específicos de ingeniería de yacimiento para evaluar la interacción roca -fluido.

Lo novedoso de este desarrollo consiste en lograr un nuevo inhibidor de corrosión, al utilizar como sustrato la oleoresina de pino, que permite la formación de nuevos compuestos al incorporar los ácidos resínicos y compuestos terpénicos que participan en la reacción, al producto final.

Los resultados obtenidos muestran que con este aditivo inhibidor se logran niveles de eficiencia análogas a los alcanzados con productos comerciales de reconocida efectividad.

### ABSTRACT

At the moment in most of the treatments of acid stimulation of reservoirs that are carried out in our country, to reestablish the effective permeability of the formation and to increase the production of the petroleum, commercial corrosion inhibitors are used, which are acquired by way of the import, oscillating their prices on the 14000-17000 USD/t. Of here the great importance for the Cuban economy of being able to obtain national corrosion inhibitors that facilitates to diminish imports and they allow us the liberation of the external market.

The investigation program was planning in three main directions of work: definition of the procedure of obtaining of the national corrosion inhibitor, the protectors characteristic of corrosion inhibitor evaluation in the metallic surfaces and evaluation in the acid formulation in front of the interaction rock - fluid.

To value the inhibitor action of the obtained products the electrochemical technique of advanced Bubble Test it is used that allowed to select that of better qualities protectors. Additionally to this technique, it was carried out the gravimetrical test to complete the results.

With the purpose of knowing the behavior of the product in front of the diverse pollutants that exist in the formation their stability is evaluated in front of the same ones.





A structural study is presented using the spectroscopy FTIR in the range of 400 - 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Specific methods of reservoirs engineering are used to evaluate the interaction rock - fluid

The novel of this development consists on achieving a new inhibitor of corrosion, when using as substrate the pine oleoresin that allows the formation of new compound with the incorporation of the acid resinic and terpenic compound that participate in the reaction, to the final product.

The obtained results show that with this inhibitor they are achieved levels of efficiency similar to those reached with commercial products of successful effectiveness.

## INTRODUCCION

En la estimulación de reservorios carbonatados los tratamientos de acidificación se encuentran muy difundidos a causa de una buena efectividad y una relación costo/ beneficio razonable.

De los diferentes ácidos que pueden ser usados para los procesos de acidificación, el ácido clorhídrico es el más empleado para estos procesos debido a su eficiencia en restablecer la permeabilidad de la formación. Sin embargo por su fortaleza iónica es muy corrosivo; de ahí que se debe usar un aditivo inhibidor de la corrosión para minimizar el ataque a las tuberías y elementos empleados en la perforación. (Domínguez J.A., 1987)

En la selección de un inhibidor para ser utilizado en los tratamientos de acidificación se debe tener en cuenta variables tales como: temperatura de fondo del pozo, tipo de ácido, tiempo de contacto, tipo de metal, fluidos de producción, concentración del aditivo a usar y otros.

Por definición, los inhibidores son sustancias químicas que adicionadas al medio corrosivo en muy pequeñas cantidades producen una disminución sensible de la velocidad de corrosión

En los tratamientos de estimulación ácida los inhibidores de corrosión utilizados son de naturaleza orgánica que funcionan por un mecanismo de adsorción. Ellos ejercen su efecto al ser adsorbidos en la superficie metálica, formando una capa protectora en la interfase ácido - metal. La película forma una barrera que dificulta a los iones de hidrogeno alcanzar la superficie del metal y causar la corrosión.

Para ser adsorbidos en las superficies metálicas los compuestos orgánicos deben poseer grupos funcionales con carácter polar que contengan al menos un heteroátomo (S, N, O, P) o que posean en la molécula múltiples enlaces, ( $\text{HC}=\text{CH}$ ,  $\text{C}\equiv\text{C}$ ), que permitan una unión electrostática o química con la superficie del metal. (Ríos E. 2001; Crowe, C. W., 1985).

En general los inhibidores de corrosión se producen a partir de diversos tipos de materias primas tales como ácidos grasos, ácidos de colofonia, compuestos nitrogenados, derivados del oxido de etileno y sus combinaciones. Deben poseer buena dispersabilidad a cualquier concentración de ácido y no deben requerir procedimientos especiales o complicados de mezclado. (Machu W., 1970).

Tomando en consideración lo reportado en la literatura sobre el uso de aminas, amidas, imidazolina, etc., en los fluidos de estimulación como inhibidores de corrosión, se estudió la obtención de un producto amídico (Casal, A. M., 1991; Martín E., 1993) a partir de una materia prima natural y renovable: la oleorresina de pinos cubanos.

La novedad de este inhibidor de corrosión es que en la reacción de amidación participan tanto los ácidos resínicos como los componentes de naturaleza terpénica en ella incluidos.

El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados alcanzados en la obtención de un inhibidor de corrosión cubano, que permite su utilización en los tratamientos de estimulación



ácida, que actualmente se realizan en nuestro país para restaurar la capacidad natural de producción del pozo al eliminar el daño existente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El programa de investigación se planificó en tres direcciones principales de trabajo:

- I. Definición del procedimiento de obtención del inhibidor de corrosión nacional
- II. Evaluación de las características protectoras de corrosión del inhibidor en las superficies metálicas.
- III. Evaluación del inhibidor de corrosión en la formulación ácida frente a la interacción roca - fluido

### I. Definición del procedimiento de obtención del inhibidor de corrosión.(inh-14)

La literatura consultada refiere el empleo de inhibidores orgánicos en los tratamientos de estimulación ácida. Ellos presentan en su composición grupos funcionales con carácter polar al contener al menos un heteroátomo (S, N, O y F) o poseer en la molécula múltiples enlaces. (Domínguez J.,1987) Estas características permiten una unión electrostática o química con la superficie del metal que dificulta a los iones hidrogeno alcanzar la superficie del metal y causar la corrosión (Ríos E. 2001; Crowe, C. W., 1985)

La oleorresina de pino presenta en su composición las características idóneas para obtener a partir de ella o de uno de sus derivados productos con acción inhibidora de la corrosión al presentar en su molécula dobles enlaces conjugados y un grupo ácido. (Casal, A. M., 1991)

Con la finalidad de aumentar la reactividad de la molécula de oleorresina se decide partir del aducto de oleorresina producto que se obtiene mediante la reacción de Diels Alder y que permite introducir en la molécula dos grupos carbonilos adicionales.

En trabajos anteriores de los autores (Martín E., 1993; Casal A., 1989) se definió el proceso de obtención del aducto a partir de la oleorresina de pino y el anhídrido maleico.

Tomando en consideración lo reportado en la literatura sobre la utilización de inhibidores orgánicos catiónicos en los fluidos de estimulación se planifica la obtención de un producto de naturaleza catiónica a partir del aducto de oleorresina y una diamina. (Oppenlander K., 2000; Chelow P. J., 1995)

A continuación se relacionan las materias primas empleadas en la obtención del aducto de oleorresina e inhibidor de corrosión catiónico.

- Oleorresina de pino cubana
- Anhídrido Maleico
- Diamina
- Alcohol Isopropílico

En la tabla I se presentan los resultados de la caracterización de la oleorresina de pino, materia prima no clásica, natural y renovable. (ASTM – D 465 – 59 / 1970)

Tabla I Características de la oleorresina de pino.



	Valor Ácido (mg KOH/g muestra)	Ind. Saponificación (mg KOH/ g muestra)	Ac. Resínico (%)
Oleoresina de pino	134.72	130.29	65.30

El procedimiento de obtención del aducto a partir de oleoresina de pino se realizó conforme a la descripción que aparece en la Patente de Invención correspondiente. Su caracterización físico-química se reflejan en la Tabla II

Tabla II Características del aducto obtenido

	Valor Ácido (mg KOH/g muestra)	Ind. Saponificación (mg KOH/ g muestra)	Punto de Fusión (°C)
ADUCTO	217.42	229.61	76-78

### Método de obtención del Inhibidor de Corrosión

En un equipo convencional de síntesis, se coloca el aducto de oleoresina y el solvente seleccionado, agitando dicha masa a temperatura ambiente hasta su total disolución. Entonces se comienza la adición de la diamina lentamente con agitación. Concluida la adición se prolonga la reacción por un tiempo determinado para lograr la reacción en masa. Ocurrida la precipitación se adiciona una cantidad de solvente a la reacción y se agita durante 5 minutos. Al terminar la reacción se filtra a vacío y el sólido obtenido se disuelve en una mezcla de solvente que garantiza su solubilidad en agua. El producto fue caracterizado utilizando las normas vigentes.

Para corroborar la presencia del grupo amídico se realizó la caracterización estructural. Se utilizó la espectroscopia FTIR en el rango de  $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$  mediante un equipo de la firma Nicolet modelo Avatar 360. La técnica utilizada fue la de pastilla de KBr y película en ventana de NaCl. El procesamiento de los resultados se realizó mediante el software OMNIC 5.2 Nicolet (NICOLET/ALDRICH, 2000).

### II. Evaluación de las características protectoras de corrosión del inhibidor en las superficies metálicas.

Con la finalidad de conocer las características protectoras de corrosión del inhibidor (INH-14) en las superficies metálicas se realizó la evaluación mediante la utilización de técnica electroquímicas de avanzada. (Malo J. M., 2002; Cottis R. A., 2001)

La evaluación tenía como objetivo determinar:

- La eficiencia del inhibidor sintetizado a diferentes concentraciones.
- El comportamiento electroquímico.
- La compatibilidad del inhibidor con el resto de los aditivos.
- La espectroscopia de Ruido e Impedancia.
- La Gravimetría de Inmersión.



### III. Evaluación del inhibidor de corrosión en la formulación ácida frente a la Interacción roca – fluido.

Para la caracterización del inhibidor de corrosión INH-14, se utilizó una metodología que abarca la evaluación de propiedades tales como: (API RP-42:1977)

- Prueba de solubilidad a temperatura ambiente y 60°C
- Evaluación frente a la variación del pH
- Determinación de la Temperatura de Turbidez
- Propiedades de Filtración
- Ensayos de estabilidad en el ácido emulsionado
- Ensayos de compatibilidad en el ácido emulsionado con el petróleo y la roca
- Ensayos de humectabilidad por los métodos de ángulo de contacto y de la botella.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Resultados de la Caracterización Físico-Química del INH-14

En la tabla IV se muestran los resultados de la caracterización físico – química del inhibidor INH-14.

Tabla IV Resultado de la caracterización del inhibidor INH-14.

INDICES	INHIBIDOR INH-14	INHIBIDOR COMERCIAL
Apariencia	Líquido ámbar	Líquido amarillo
Carácter iónico	catiónico	No iónico
pH	11 -12	7
Densidad a 25 °C g/cm <sup>3</sup>	1.002	1.074
% Componente Activo	22 -24	5 - 6
Solubilidad	Soluble en agua	Soluble en agua
Tensión Superficial (dinas/cm)	35.73	41.84

En la Figura 1 se muestra los espectros FTIR obtenidos de las materias primas de partida (espectros 1 y 2) y del inhibidor IHN-14.

De la comparación de los mismos se observa la aparición en el producto de nuevas bandas de absorción las cuales se asocian a la formación de una amida lo cual se corrobora porque:

- Desaparece la vibración en 1839 cm<sup>-1</sup> correspondiente a un C=O del aducto, lo cual indica una sustitución en el proceso de síntesis.
- Aparece una vibración en 1644 cm<sup>-1</sup> característica del enlace de valencia de los C=O amídicos
- Aparece una vibración en 1148 cm<sup>-1</sup> característica del enlace de valencia del grupo C-N de amidas
- Aparece una vibración en 1532 cm<sup>-1</sup> característica de la deformación del enlace NH amídico, conocida como Amida II.
- Aparece la vibración de valencia del enlace NH de amidas en 3447 cm<sup>-1</sup>

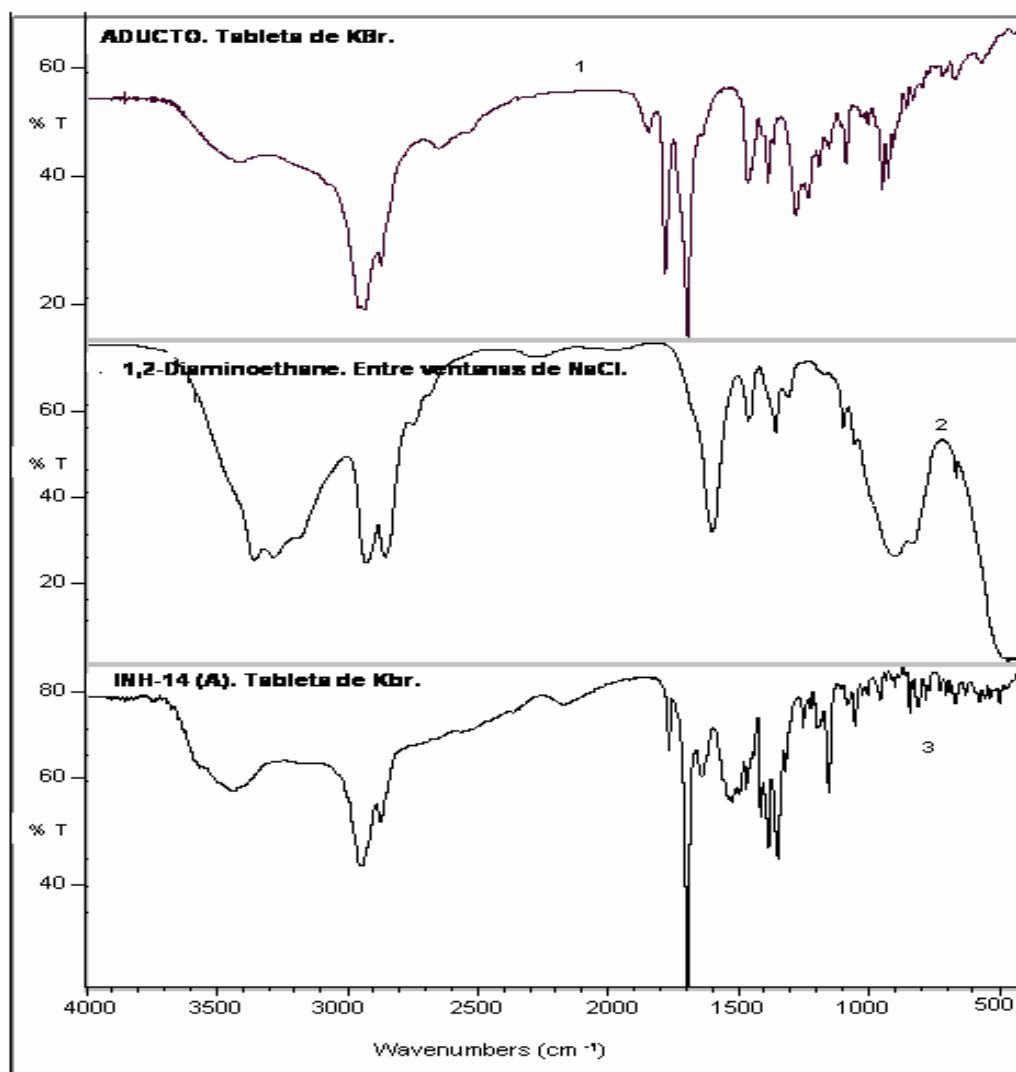


Figura 1 Espectros FTIR obtenidos de las materias primas de partida (espectros 1 y 2) y del inhibidor IHN-14.

## Resultados de Ensayos Electroquímicos

En la tabla V se aprecia la Efectividad del Inhibidor de corrosión IHN-14 a diferentes concentraciones de trabajo.

Tabla V Eficiencia del inhibidor INH-14 a diferentes concentraciones.





Ensayo	$V_{corr}$ (mm/ año)	$\eta$ ( %)	$\gamma$
HCl al 15% ( I)	344.7734	-	-
( I) + INH 14 (0.3%)	130.4292	62.17	2.64
( I) + INH 14 (0.5%)	31.7548	90.78	11.21
( I) + INH 14 (0.7%)	22.5077	93.47	14.44
( I) + INH 14 (1%)	163.3471	52.62	2.11
Inhibidor comercial*(0.5%)	1 7.9610	94.79	19.19
V (velocidad de corrosión) $\eta$ (eficiencia) $\gamma$ (poder protector)			

Se puede apreciar la eficiencia del inhibidor IHN-14 a las diferentes concentraciones de trabajo, encontrándose su mayor efectividad y poder protector a dosis 0.7%. Como se observa a mayores concentraciones el producto disminuye su efecto protector. Esto puede estar relacionado con impedimentos estéricos sobre la superficie del metal, lo cual ocurre generalmente cuando se esta ante sustancias de composiciones voluminosas y de varios grupos funcionales como es el caso de este aditivo.

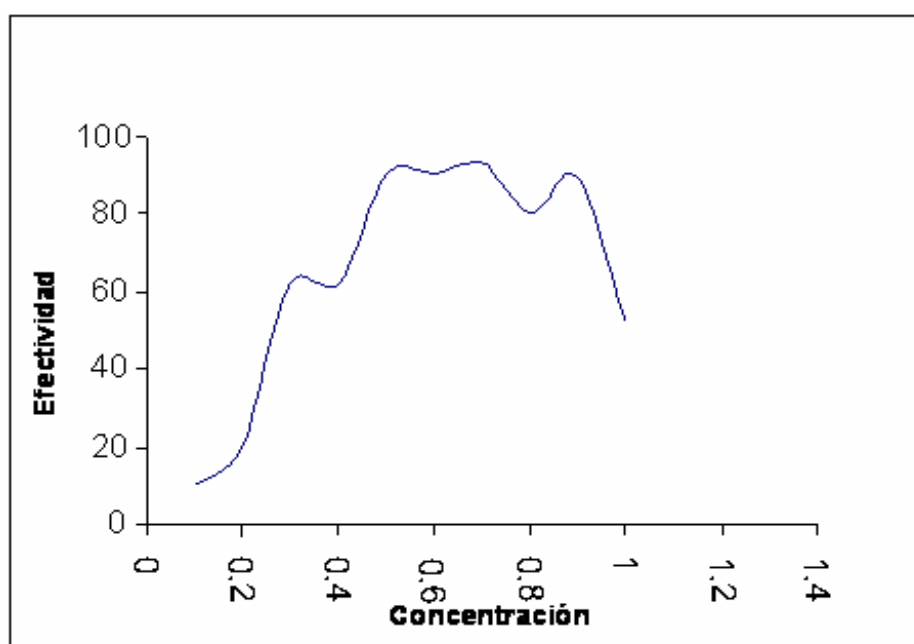


Figura 2 Eficiencia del Inhibidor 14 vs concentración

En la Figura 2 se aprecia que el inhibidor INH-14 a dosis de 0.7 ofrece su mayor eficiencia muy cercana al inhibidor comercial usado como patrón (Tabla V), que presenta una eficiencia de



94.79 %. Se observa además que en la receta puede ser utilizada a concentración de 0.5 %, ya que la protección resulta favorable en este medio.

La tabla VI muestra los resultados de los ensayos electroquímicos realizados con los diferentes aditivos que conforman la receta ácida. Se observa la interacción de cada uno de ellos con el inhibidor IHH-14.

Tabla VI Resultados de los ensayos electroquímicos

Ensayos	Pot. Rep. (mV)	LPR (ohm/cm <sup>2</sup> )	I <sub>c</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	V <sub>corr</sub> (mm/año)	η (%)	Y
HCl 15 % (I)	-505	1.058	25.176	344.77	-	
5I +INH 14 (0.5%)	-518	21.146	2.890	31.75	90.78	11.21
I + Ac. Acético. (2%)	-530	1.792	15.346	177.85	16.07	1.19
I + Desemulsionante (0.05%)	-510	4.103	5.986	69.39	67.25	3.05
I +Tensoactivo (0.25%)	-510	3.663	7.233	83.83	60.44	2.53
I + INH.14 +Acético	-522	7.120	1.672	54.43	84.21	6.33
I +INH.14 + Desemulsionante	-530	9.115	7.207	71.10	79.38	4.84
I + INH.14 + Tensoactivo	-507	16.963	3.095	46.42	86.53	7.42
I+ INH.14 +Travis+ Ac. Acético	-528	6.607	3.409	81.15	76.46	4.24
I+ INH.14 + Desemulsionante Ac. Acét. + Tensoactivo	-515	19.600	2.660	38.56	88.81	8.94

Pot. Rep. (Potencial de Reposo) I<sub>c</sub> (Corriente de Corrosión) LPR (Resistencia a la Polariz.)

El ligero desplazamiento de los potenciales con respecto al blanco, es propio de sustancias inhibidoras con acción mixta (actúan retardando los procesos anódicos y catódicos).

Se aprecia la proporcionalidad entre la Eficiencia de los productos (η %) y las LPR (resistencia a la polarización) obtenidas para cada sustancia. El producto comercial es el que mejor comportamiento presenta, tomándolo como referencia para comparar con el inhibidor INH-14. Las corrientes de corrosión disminuyen con el aumento de las LPR y la Efectividad de las sustancias evaluadas.

La Figura 3 muestra este comportamiento donde se observa como la adición del inhibidor atenúa considerablemente los transitorios del espectro o ruido de tipo blanco característico de medios ácidos donde la corrosión se hace uniforme en toda la superficie del metal.

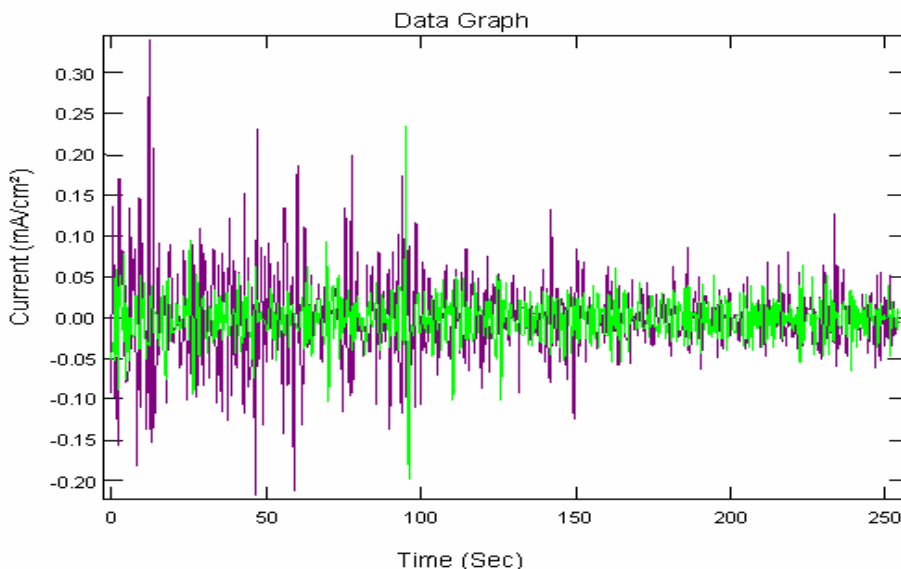


Figura 3 Espectroscopia de Ruido del blanco con el inhibidor a 0.5% el verde es con adición del inhibidor

La tabla VII se muestran los coeficientes de protección obtenidos de los diferentes aditivos que conforman la receta ácida.

Tabla VII Coeficientes de Protección ( $\gamma$ ) de los diferentes aditivos.

$\gamma$ INH 14	$\gamma$ Ac. Acético.	$\gamma$ Desemul.	$\gamma$ Tensoact.	$\Sigma \gamma$	Relación	$\gamma$ Mezcla
11.21	-	-	-	-	-	-
11.21	1.19	-	-	12.4	>	6.33
11.21	-	3.05	-	14.26	>	4.84
11.21	-	-	2.53	13.74	>	7.42
11.21	1.19	3.05	-	15.45	>	4.24
11.21	1.19	3.05	2.53	17.98	>	8.94

Los diferentes aditivos de la receta individualmente ofrecen cierto poder protector en este medio, siendo los de mejor comportamiento el Desemulsionante y el Tensoactivo 3.05 y 2.53 de Poder Protector respectivamente. Esto puede ser atribuible a que en la composición química de los mismos existen grupos funcionales que le confieren posibilidades de adsorberse sobre los centros activos del metal.

La mezcla de cada aditivo con el inhibidor decrece el poder protector del mismo, ofreciendo un efecto antagónico en el sistema, siendo el más antagónico el secuestrante de hierro. Se debe destacar que aunque la eficiencia del inhibidor decrece, la receta en general ofrece una efectividad aceptable para este medio (de 90.78% a 88.81%).

La Figura 4 nos muestra los espectros de impedancia difusional los cuales están asociados con el cambio de la concentración de especies electroactivas en la interfase durante las mediciones comportamiento típico de adsorción de inhibidores orgánicos en medio ácido. En la misma se



observa el efecto de la concentración del inhibidor donde a mayor amplitud hay una mayor  $R_p$  que se traduce en mayor efectividad.

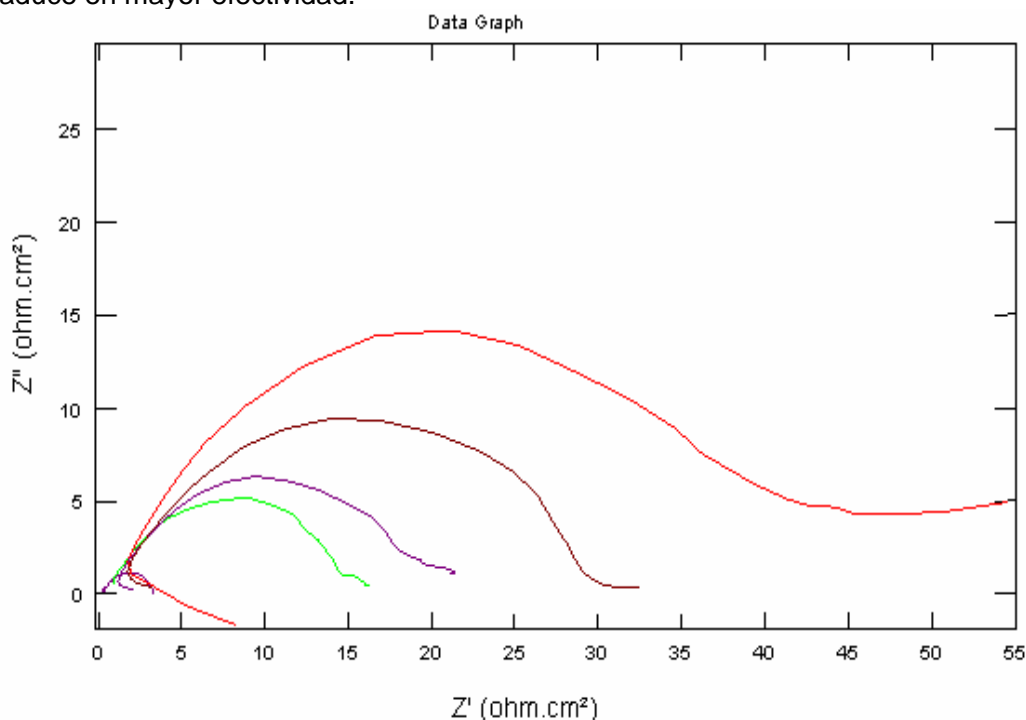


Figura 4 Espectroscopia de Impedancia del blanco y las diferentes concentraciones del inhibidor

En la Tabla VIII se aprecian los valores promedios obtenidos de los ensayos gravimétricos realizados.

**Tabla VIII Resultados de los ensayos gravimétricos.**

	$\Delta P$ (gram)	$V_{corr}$ (mm/año)	$V_{corr}$ (LB/pie <sup>2</sup> año)	$\eta$ (%)
HCL 15% (I)	0.586	143.871	80.171	-
I + INH-14	0.028	6.795	3.786	95.2

De los resultados obtenidos se infiere que el INH-14 para el acero no aleado como es el caso del acero CT-3, posee en este medio una buena efectividad que alcanza el valor de 95.2. Este resultado está en el orden de los valores obtenidos por los ensayos electroquímicos que se reportan en la Tabla VI.

### Resultado de la Evaluación del INH-14 frente a la interacción roca-fluido

En la Tabla IX aparecen los resultados de la prueba de solubilidad a temperatura ambiente y a temperatura de capa realizada al inhibidor INH-14.

Tabla IX Resultado de la prueba de solubilidad del inhibidor.



Inhibidor	Temperatura	
	ambiente	capa (60 °C)
agua	Soluble	Soluble
ácido (HCL 15%)	Soluble	Soluble
LCO	Insoluble	Insoluble
Xileno	Insoluble	Insoluble

Como se observa en la tabla el inhibidor presenta en agua y en ácido buena solubilidad tanto a temperatura ambiente como a temperatura de capa (60 °C)., no así en LCO y en xileno . Esto indica que el inhibidor debe ser disuelto en agua o en ácido al preparar la receta.

En la Tabla X se presenta el comportamiento del inhibidor frente a la variación del pH a temperatura ambiente y de capa (60 °C).

Tabla X Comportamiento del inhibido INH-14 frente a la variación del pH a temperatura ambiente y de capa (60 °C).

INH-14	Sedimento a temperatura	
	Ambiente	Capa 60 °C
pH =2	No se observa	No se observa
pH =4	No se observa	No se observa

Como se muestra en la tabla X, el inhibidor se mantiene estable frente a los cambios de pH que tienen lugar durante el tratamiento de estimulación en el interior del pozo, al no observarse deposición de sedimento a temperatura ambiente ni a temperatura de capa (60° C).

A continuación se determino la temperatura de turbidez del inhibidor a fin de conocer el rango de temperatura a la cual puede trabajar sin sufrir degradación por efecto de la temperatura. La temperatura de turbidez reportada para el inhibidor de corrosión en agua dulce es mayor de 90 ° C, la cual es superior a la temperatura promedio de los pozos de nuestro país (60°C). Esto nos indica que el INH-14 no experimentará variación en su composición química a la concentración estudiada y que el mismo puede ser utilizado en pozos que presenten temperaturas mayores de 60° C.

En la Tabla XI se presentan los resultados obtenidos en la determinación de las propiedades de filtración del inhibidor.

Tabla XI Resultados obtenidos en las propiedades de filtración del INH-14

INH-14	FS	FSR	PF
--------	----	-----	----





0.5%	0.99	0.96	1.33
------	------	------	------

La propiedad de filtración nos indica la capacidad del producto de filtrarse a través del medio poroso, teniéndose que:

- $PF=1$  la propiedad de filtración del reactivo es buena
- $PF=1-2$  es satisfactoria
- $PF>2$  es mala, el reactivo tupa el medio poroso.

Los resultados obtenidos muestran valores similares entre el valor skrim (FS) y el factor skrim residual (FSR), lo cual nos indica que el inhibidor no afecta la capacidad del medio poroso a la concentración de trabajo. Esto es corroborado por el valor de la propiedad de filtración obtenido que clasifica como satisfactoria.

En la Tabla XII se presentan los resultados del inhibidor INH-14 y el inhibidor comercial en la prueba de estabilidad en el ácido emulsionado.

Tabla XII Ensayos de estabilidad en el ácido emulsionado a temperatura ambiente

	Mezcla ácida	Separación de fase
1	Inhibidor nacional	Se mantiene la emulsión durante 1 hora
2	Comercial	Se mantiene la emulsión durante 1 hora

Se observa un comportamiento del inhibidor nacional similar al obtenido cuando se emplea el inhibidor comercial. Se logra emulsionar el ácido en la fase solvente permaneciendo estable durante una hora, a partir de la cual comienza a romperse la emulsión. El proceso es reversible, siendo posible su regeneración posterior.

En la tabla XIII aparecen los resultados de las pruebas de compatibilidad realizadas al inhibidor INH-14 y al inhibidor Comercial en la formulación ácida a temperatura de capa ( $60^{\circ}\text{C}$ ).

Se utilizó para los ensayos de compatibilidad roca de la formación del afloramiento Loma de Bonachea, la cual presenta un contenido de Carbonato de Ca de un 90 %. y petróleo crudo del pozo BJ-295 cuyas características corresponde con un crudo pesado con alto contenido de asfáltenos y resina. Se utilizaron dos formulaciones ácidas-emulsionadas: una empleando el inhibidor nacional y la otra con un inhibidor comercial.



Tabla XIII Resultados de las pruebas de compatibilidad a T=60 °C realizadas a la formulaciones ácidas emulsionadas con el INH-14 y el Inhibidor Comercial.

Tiempo (min)	% de Separación obtenida en fase acuosa	
	INH-14	Comercial
0	0	0
10	44	44
20	80	75
30	100	100

Se observa que en las dos formulaciones se obtiene una rápida separación de la fase acuosa que alcanza su valor máximo a los 30 min de comenzado el ensayo. Esto demuestra que la formulación que presenta el inhibidor nacional tiene un comportamiento en la interacción roca-fluido similar al de la formulación realizada con inhibidor comercial.

Tabla XIV Resultados de la mojabilidad por el método de la botella y por el método de ángulos de contacto del inhibidor nacional

	Carácter	Angulo (grados)	Resultado
Método de la botella	oleohumectante	-	La formación se mantiene impregnada de petróleo, no hay desprendimiento del mismo
Método de ángulos de Contacto	-	45	Mojado al petróleo

Como se muestra en la Tabla XIV, por el método de la botella, no se observa desprendimiento de petróleo, manteniéndose el carácter oleohumectante de la roca. Este resultado se corrobora con el obtenido por el método de ángulo de contacto, en el cual se manifiesta una preferencia por la roca a ser mojada por el petróleo, manteniendo el carácter oleohumectante de la formación original.

## CONCLUSIONES

1. Se definió la tecnología de obtención de un inhibidor de corrosión nacional (INH-14) que permite ser empleado en los tratamientos de estimulación que se realizan en los pozos para restablecer la permeabilidad efectiva de la formación e incrementar la producción de petróleo.
2. El empleo de la oleoresina de pino introduce ventajas desde el punto de vista estratégico, por ser una materia prima de origen natural y renovable, que permite obtener un inhibidor de corrosión nacional con la consiguiente disminución de importaciones y liberación del mercado externo.
3. Los resultados de la evaluación del producto utilizando técnicas electroquímicas de avanzada permiten aseverar que presenta las características propias de un inhibidor de corrosión, con eficiencias similares a la del producto comercial



4. Se demuestra, de acuerdo a los resultados de la caracterización del inhibidor obtenida, que el producto desarrollado posee las propiedades idóneas para su utilización en trabajos de tratamientos de estimulación a pozo al no afectar la estabilidad, ni la compatibilidad en la formulación ácida emulsionada, así como su comportamiento frente a la variación de pH,

## BIBLIOGRAFÍA

- API RP-42:1977 Surface Active Agents for Well Stimulation, Second Edition.  
ASTM – D 465 – 59 / 1970  
Casal, A. M.; M. Kosik; J. Cvengroz. 1991. Oleorresins. Their composition, analysis, chemical modification and uses. *Chemické Listy* (Checoslovaquia), 85: 240-245.  
Chelow P.J. (1995). US 5 427, 999. Amine adducts as corrosion inhibitors.  
Cottis R. A. 2001. Interpretation of electrochemical noise data. *Corrosion* (United States), 57: 201.  
Crowe, C. W.; S. S. Minor. 1985. Effect of Acid Corrosion Inhibitors on Matrix Stimulation Results. *Journal of Petroleum Technology* (United States), October: 1853 – 1861.  
Domínguez J. (1987) Introducción a la corrosión y Protección de los metales. MES.  
Machu W. And Dudlik W. (1970) The role of Organic Chemical Inhibitors in Oil Well Acidizing. 3er European Symposium on Corrosion Inhibitors. Ferrara.  
Malo J. M. Uruchurtu J. (2002) Técnicas electroquímicas para el control y estudio de la corrosión. UAEM México  
Martín E. et. al. (1989). Certificado de Autor Nº 21 865. Procedimiento para la obtención de encolante reforzado para papel a partir de oleorresina de pino y el producto resultante. Cuba.  
Martín E. et. al. (1993). Certificado de Autor Nº 22 227. Procedimiento para la obtención de encolante reforzado para papel a partir de oleorresina de pino y el producto resultante. Cuba.  
NICOLET/ALDRICH FT-IR Condensed Phase Library OMNIC–NICOLET – 2000. Versión 2.5  
Oppenlander K.; G. Oetter. (2000). US 6 077,460. Corrosion inhibition.  
Ríos E. 2001. Daño a la Formación y Estimulación de Pozos. Edición 1. PDVSA (Venezuela): 8-10.

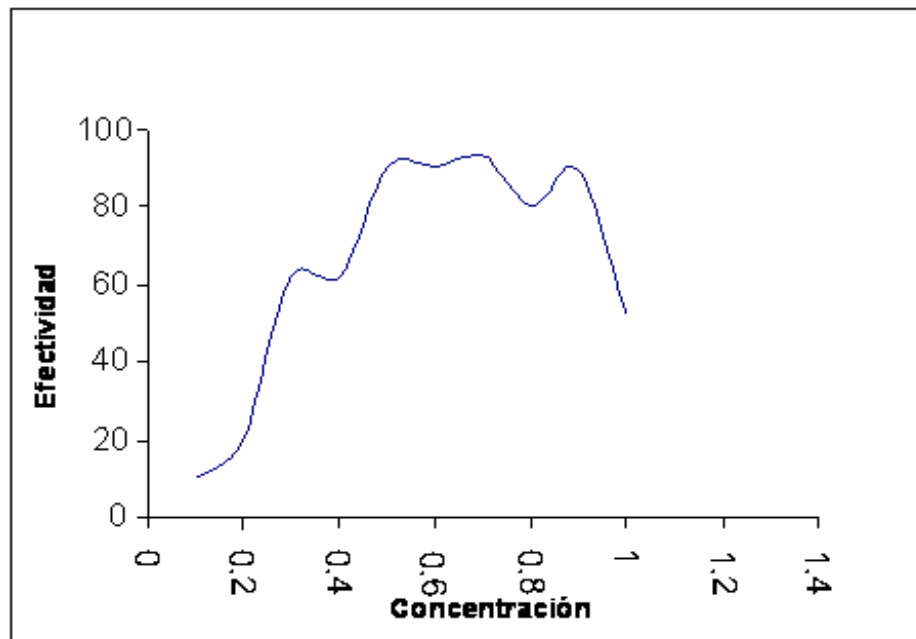


Figura 2 Gráfica de Eficiencia del Inhibidor 14 vs concentración

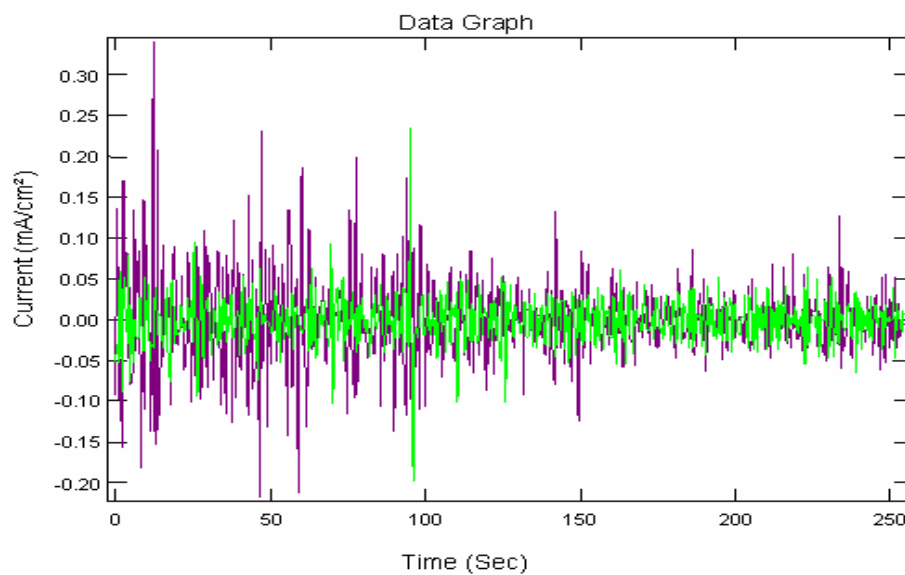


Figura 3 Espectroscopía de Ruido del blanco con el inhibidor a 0.5% el verde es con adición del inhibidor)

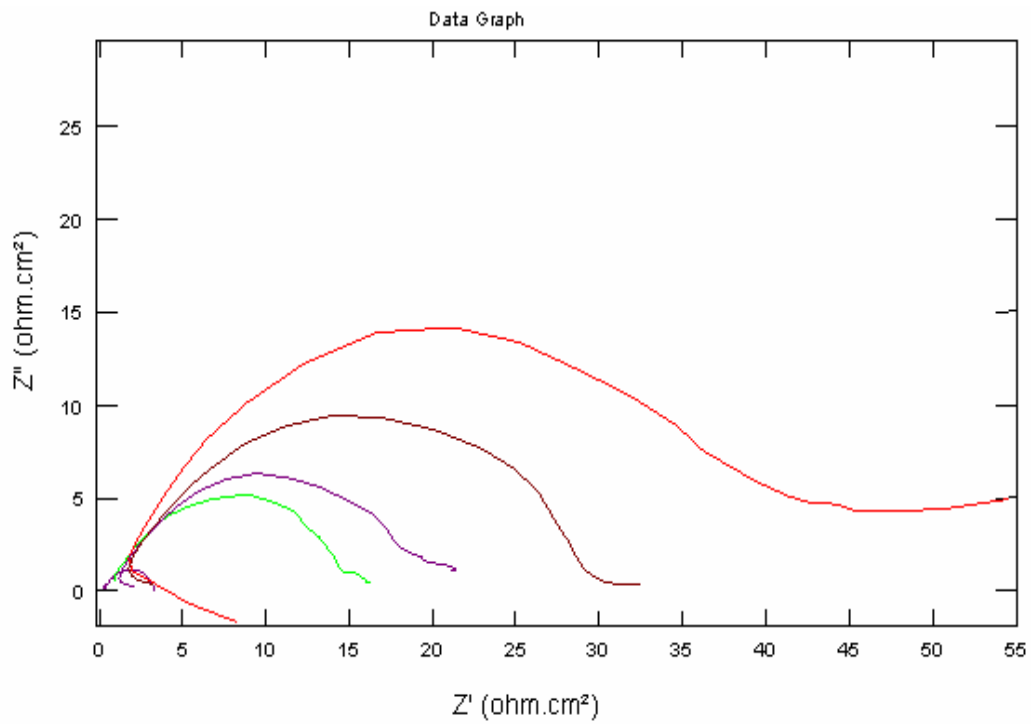


Figura 4 Espectroscopia de Impedancia del blanco y las diferentes concentraciones del inhibidor





## ESTUDIO DE SISTEMAS EMULSIONANTES/DESEMULSIFICANTES EN LA FORMULACION DE FLUIDOS ACIDO AROMATICO EMULSIONADO PARA LA ESTIMULACIÓN DE RESERVORIOS.

**Ada M. Casal Viqueira**, Beatriz Spengler Fernández, Félix S.Echevarría Pestana, Lourdes Lesmes Garrido, Marino Fonseca Columbié, Amalia Quesada Quintero, Isabel López Peláez.

*Centro de Investigaciones del Petróleo (Ceinpet), Washington No 169 esq. Churruca., Cerro, C.de la Habana. Cuba.C.P 1200 E-mail casal ceinpet.cupet.cu*

### RESUMEN

La técnica de estimulación de reservorios empleando ácido – aromático emulsionado, muestra numerosas ventajas respecto a los tratamientos tradicionales de acidificación, fundamentalmente por lograrse que el ácido llegue a mayores profundidades, lo cual redundará en una mayor eficiencia del tratamiento al restablecerse la permeabilidad efectiva de la formación geológica y alcanzarse el deseado incremento en la producción de petróleo.

En nuestro país, estos tratamientos se habían ejecutado con el empleo de aditivos comerciales importados sin embargo el alto costo de los mismos significó una seria objeción para su generalización.

Desde 1998 el Ceinpet comenzó el estudio de estos fluidos de estimulación, con el objetivo de desarrollar aditivos nacionales empleando en su composición fundamentalmente materias primas y sub-productos nacionales.

En el presente trabajo se presentan los resultados del desarrollo de fluidos emulsionados empleando para ello un tensoactivo catiónico, recomendado para trabajar en medio fuertemente ácido y de un desemulsificante desarrollado a partir de un residual de la producción de alcohol.

Se realizaron los estudios de dosificación y como criterio de evaluación se seleccionó la estabilidad a temperatura ambiente y a 60° C, que es la temperatura promedio en el interior del pozo.

Se evaluó la eficiencia del desemulsificante en sistemas que emplean tanto emulsificantes catiónicos como aniónicos, resultando efectivo en ambas condiciones.

Se realizaron evaluaciones complementarias, que incluyen su comportamiento en el medio poroso a fin de optimizar la formulación.

### ABSTRACT

The technique of reservoirs stimulation using acid - aromatic emulsified, shows numerous advantages in comparison with the traditional treatments of acidification, fundamentally it lets that the acid arrives more depth, and this redounds in more efficiency of the treatment in the recovering the effective permeability of the geologic formation and the one wanted increment in the production of petroleum.

In our country, these treatments had been executed employing imported commercial additives, however the high cost of the same ones represented a serious objection for their generalization.

Since 1998 the Ceinpet began the study of these stimulation fluids, with the objective of developing national additives using fundamentally in its composition, national raw material and industrial by-products.

In the present work, the results of the development of emulsified fluids are presented using for it a cationic tenside, recommended to work in an strongly acid media and a desemulsifier developed from a residual of alcohol production.

There were carried out the dosage studies and as evaluation criteria the stability was selected, doing it at ambient temperature and 60° C, that it is the average temperature inside the well.



The efficiency of the demulsificant was evaluated in systems that use either cationic emulsifiers or anionic ones, resulting effective under both conditions. There were carried out complementary evaluations that include their behavior in the porous medium in order to optimize the formulation.

## INTRODUCCION

En la búsqueda de métodos alternativos para la estimulación de reservorios carbonatados, los tratamientos de acidificación han alcanzado amplia difusión, siendo su objetivo restablecer la permeabilidad efectiva de la formación y con ello lograr el deseado incremento en la producción de petróleo (Hoefner 1987)

En la ultima década el empleo de sistemas ácido-emulsionado ha mostrado ventajas significativas sobre los métodos de acidificación convencionales considerando que puede lograrse una limpieza mas profunda de la formación creándose nuevos canales, además los sedimentos y finos removidos se mantienen en suspensión y no se precipitan sobre las rocas (Gardner 1991)

En general un sistema ácido-emulsionado comprende como elementos fundamentales un solvente de naturaleza aromática, ácido clorhídrico al 15 % y un tensoactivo capaz de garantizar la estabilidad de la emulsión. En menor proporción, pero no por ello con menor importancia intervienen también rompedores de emulsión (para prevenir la formación de emulsiones entre el ácido y el petróleo y destruir las existentes, inhibidores de corrosión, agentes estabilizantes o secuestrantes de hierro y agentes estabilizadores de los asfaltenos (Echevarría 2002).

Como puede observarse el diseño de un sistema ácido emulsionado resulta complejo fundamentalmente por la compatibilidad que tiene que existir entre sus componentes, ya que un sistema inadecuado puede causar daños a la formación geológica irreversibles. ( Rios 2001)

En un trabajo anterior se estudió la formulación de sistemas ácido-emulsionado empleando tensoactivos aniónicos. De ellos resultó muy eficiente el empleo como emulsificante de un tensoactivo base ácidos sulfónicos, el cual empleado a dosis del 1 % ofrece emulsiones idóneas para los tratamientos.(Casal 2003)

Se incursionó además en la posible sustitución del xileno por un subproducto de la refinación de petróleo con alto contenido de aromáticos, el LCO.

Ello permitió sustituir dos productos comerciales, lo que se traduce en una significativa disminución del costo del fluido de estimulación. Por la composición del sistema se obtuvo un Certificado de Patente de Invención y la misma ha sido aplicada exitosamente en la estimulación de alrededor 20 pozos. (Ceinpet 2002).

En cuanto a los emulsificantes, el estudio de la literatura especializada recomienda el uso de emulsificantes de naturaleza catiónica para este tipo de fluidos de estimulación por ser estos los mas adecuados para trabajos en medios fuertemente ácidos (pH=1 aproximadamente) (Dalmazzone 1997).



En general los productos desemulsionantes comerciales, son de naturaleza compleja, teniendo como base mezclas de alcoholes etoxilados, mezclas de esteres de poliglicerol y siliconas entre otros.( Strom-Kristiansen 1995)

La elección del desemulsionante se hace teniendo en cuenta la naturaleza del emulsificante, considerando de manera especial factores tales como solubilidad, ionicidad y la compatibilidad con los restantes elementos de la formulación para evitar efectos no deseados.

Constituyen los objetivos del presente trabajo presentar los resultados alcanzados en:

- El desarrollo de sistemas ácido aromático emulsionado empleando un formulado de tensoactivo catiónico.
- El desarrollo de un formulado con acción desemulsionante a partir de un residuo industrial nacional y su evaluación en el sistema ácido emulsionado.
- Las evaluaciones de física de yacimiento de la mejor formulación de fluido de estimulación

## **MATERIALES Y METODOS**

### **MATERIALES**

- Emulsificantes Catiónicos

Se estudió un tensoactivo del tipo sal de amonio cuaternario con un 99 % de ingrediente activo.

- Emulsificantes Aniónicos.

Como base de comparación se empleó el tensoactivo aniónico base ácidos sulfónicos que fue objeto de estudio en un trabajo anterior.

- Desemulsionantes

Se empleó para el estudio un desemulsionante obtenido en el Ceinpet, a partir de un residual de la producción de alcohol.( Casal 2004)

Como criterio comparativo se empleó el desemulsificante comercial D-3, de reconocida eficiencia

- Solvente

Se empleó el LCO, sub-producto nacional, procedente de la refinación de petróleo.

- Acido

Fue utilizado ácido clorhídrico al 15 % por ser el recomendado por la literatura para la estimulación de reservorios carbonatados.

- Inhibidor de corrosión

Para lograr el deseado efecto inhibidor de la corrosión, considerando la presencia de ácido clorhídrico en el sistema, se empleo el inhibidor de corrosión INH-14, desarrollado en el Ceinpet.( Martín 2004)



- Secuestrante de Hierro

Para impedir la precipitación de hierro durante el tratamiento y estabilizar el pH del medio se empleó el producto secuestrante LS-24, desarrollado en el Ceinpet (Gutierrez L. 2004)

### **Metodología de evaluación.**

Evaluación de emulsificantes.

- Determinación de la concentración micelar crítica

Primeramente se estudio el efecto de la concentración del emulsificante sobre la disminución de la tensión superficial, efectuando la determinación de la concentración micelar crítica (CMC) (UNE 1982) De acuerdo a los resultados se procedió a seleccionar las dosis para formular emulsiones.

- Método de preparación de las emulsiones

En el reactor se añade el solvente aromático y la cantidad de tensoactivo seleccionado para la experiencia, agitando hasta lograr homogeneidad de la solución.

Lentamente y con agitación vigorosa se añade ésta solución sobre el ácido clorhídrico, el cual fue previamente disuelto en agua a fin de obtener una emulsión con una concentración final del 15% de ácido.

La emulsión obtenida es vertida en probetas de 100 ml, conservadas a temperatura ambiente (25 °C) y en baño termostático a 60 °C en paralelo, a fin de determinar la cinética de separación de fases (rompimiento de la emulsión), lo cual constituye un criterio de selección.

Se efectuó un estudio de la influencia de la dosis sobre la velocidad de rotura de la emulsión, considerando ambas condiciones, esto es temperatura ambiente y a 60 °C. Esta primera serie de experiencias no incluyó adición de desemulsionantes.

Adicionalmente, se evaluó la capacidad de regeneración de las emulsiones mediante agitación.

- Determinación de la tensión interfacial

Para cada una de las dosis de emulgente seleccionados se realizó la medición de tensión interfacial.

Evaluación del desemulsionante.

Con las emulsiones de mejores características se evaluó el efecto de adición de desemulsionante sobre la estabilidad de la emulsión, determinada a 60 °C.

- Evaluaciones de física de Yacimientos

A todos los aditivos que intervienen en el fluido de estimulación le fueron realizadas las siguientes determinaciones a fin de comprobar que estos aditivos no causaran daño a la formación. Estas fueron:



- ✓ Densidad, pH y solubilidad en diferentes solventes
- ✓ Temperatura de turbidez
- ✓ Propiedades de filtración
- ✓ Ensayos de humectabilidad

Se formularon entonces los fluidos ácido- aromático emulsionado donde intervienen todos los aditivos anteriormente descritos. A la mejor formulación se le realizaron ensayos de:

- ✓ Estabilidad
- ✓ Compatibilidad frente a diferentes petróleos
- ✓ Comportamiento frente a la formación y el petróleo

Adicionalmente se evaluó el efecto del fluido empleado sobre la viscosidad del petróleo de la formación.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Influencia de la dosis del emulsificante sobre la tensión superficial

En la Fig. 1, puede observarse el comportamiento de la tensión superficial, en función de la dosis de emulsificante, obteniéndose el menor de la tensión superficial, (l valor de la CMC ) a concentración del 1.8 %, lo cual habla a favor de la efectividad del tensoactivo aún aplicado a dosis bajas.

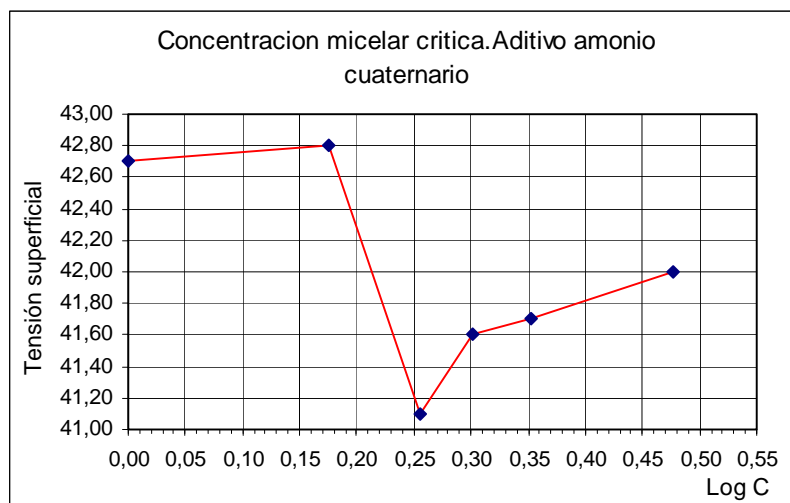


Fig.1 Influencia de la dosis de emulgente sobre la tensión superficial

### Efecto de la dosis de emulsificante sobre la estabilidad de la emulsión.

Se exploró el efecto de la dosis en un rango amplio (0.5 – 1.25 %). En la Figura 2 se observa el efecto de la dosis de emulgente sobre el comportamiento de la estabilidad en el tiempo, a temperatura ambiente y sin adición de rompedor.





En general, ocurre aumento de la estabilidad, al aumentar la concentración desde 0.5 a 0.7%. La concentración de 1.25 % no resulta aconsejable ya que no hay incremento adicional de la estabilidad .. Debe destacarse que aun trabajando a la menor dosis (0.5 %), se obtienen emulsiones estables por mas de 3 horas.

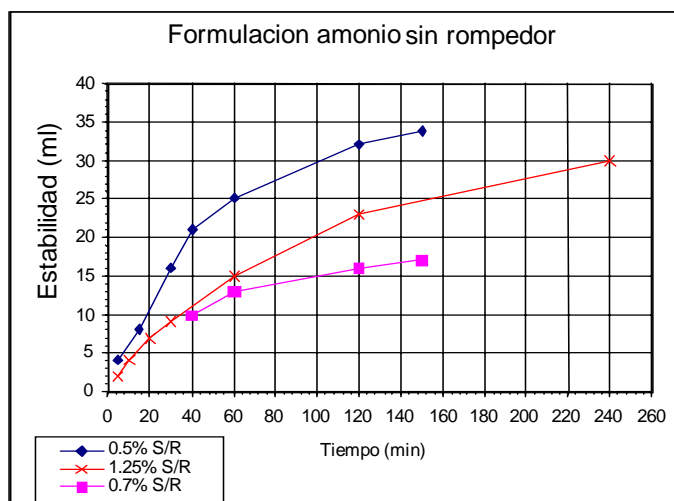


Fig. 2 Influencia de la concentración de emulsificante sobre la estabilidad de las emulsiones

### Capacidad de regeneración de la emulsión.

Después de efectuadas las determinaciones se evaluó la posibilidad de regeneración de la emulsión, esto es, después que la emulsión rompió (quedó separada en dos fases) se volvió a agitar por espacio de 20 minutos a la misma velocidad inicial y se colocó nuevamente en las probetas, observándose que esta emulsión es reversible, o sea, se regenera con agitación y en este caso ocurre un ligero aumento en la estabilidad, como se observa en Figura 3, aunque en general muestran la misma tendencia. Todos estos experimentos se realizaron sin adición de desemulsionante.

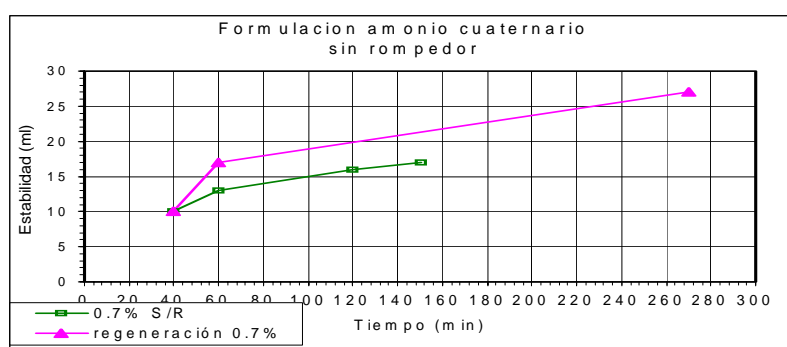


Fig. 3 Comportamiento observado en la regeneración

### Influencia de la dosis de tensoactivo sobre la tensión interfacial

En la Figura 4 se reflejan los valores obtenidos en la determinación de las tensiones interfaciales, como se observa se obtienen valores en general bajos, lo cual favorece la compatibilidad con el petróleo de la formación y hace mas eficiente la limpieza de ésta.

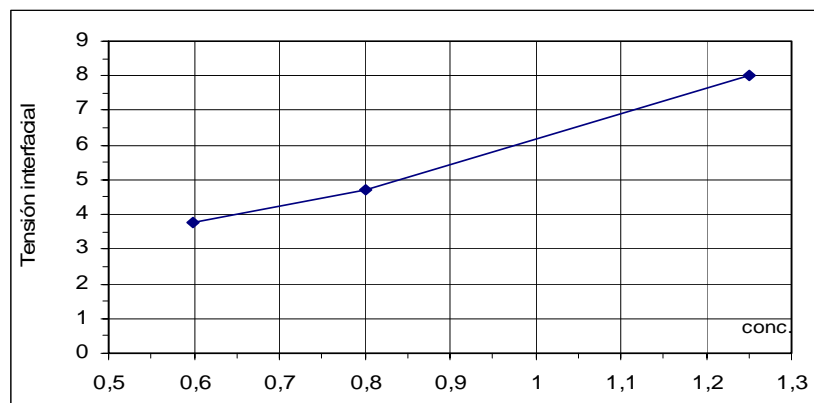


Fig. 4 Influencia de la concentración de emulsificante sobre tensión interfacial.

### Formulación de emulsiones aniónicas y catiónicas empleando desemulsionante.

Bajo el precepto de que el desemulsionante nacional objeto de estudio fuera lo mas versátil posible, se decidió evaluarlo tanto para emulsiones con tensoactivos aniónicos como con emulsiones con tensoactivos catiónicos.

En la Tabla I se presentan los resultados de la evaluación de la estabilidad a 60° C de la emulsión obtenida con tensoactivo aniónico para las condiciones: sin desemulsionante, con desemulsionante comercial, con desemulsionante nacional

Tabla I Comportamiento de los desemulsionantes en emulsiones aniónicas

Tiempo (min)	Volumen de separación de fases (ml)		
	Sin desemulsionante	Con desemulsionante comercial	Con desemulsionante nacional
3	-	3	-
5	-	20	10
6	-	40	15
7	2	56	27
10	3		56
13	10		
15	14		
20	44		
22	52		
25	55		

Se realizó la determinación a temperatura de 60 °C, por ser ésta la tempetatura promedio en el interior del pozo, se observa que por efecto de la adición de desemulsionante ocurre un brusco incremento en la velocidad de rotura de la emulsión. Debe destacarse que aunque los dos desemulsionantes se evaluaron a la misma dosis, con el nacional se observa la rotura total en un tiempo similar al comercial.

En la tabla II se presenta la influencia del tipo de desemulsionante sobre la estabilidad para emulsiones obtenidas con tensoactivo catiónico.



Tabla II Influencia del tipo de desemulsionante sobre la estabilidad para emulsiones

Tiempo (min)	Volumen de separación de fases (ml),		
	Sin desemulsionante	Con desemulsionante comercial	Con desemulsionante nacional
2	-	25	-
3	-	30	-
5	3	37	3
10	10	38	9
15	13	40	13
20	20	50	25
30	24	54	32
40	26	-	41
50	28	-	52
60	33	-	57

De la tabla se observa una reducción significativa en el tiempo de rotura de la emulsión por efecto de la adición de desemulsionante. El desemulsionante comercial y el nacional fueron evaluados a la misma dosis (0.1% respecto a emulsión) y muestran efectos similares aunque para el caso del nacional se requeriría un ligero aumento de la dosis, aspecto que fue objeto de estudios posteriores.

Las emulsiones a temperatura ambiente muestran estabilidad del orden de 6 horas. Es de destacar que la regeneración se logra incluso con agitación manual incrementándose ligeramente la estabilidad.

### Evaluaciones de física de yacimientos

En la tabla III pueden observarse los resultados de la caracterización de todos los aditivos que intervienen en la formulación, aspecto a considerar para garantizar la calidad estable de los mismos

Tabla III Resultados de la caracterización de los aditivos

Producto	Densidad g/cm <sup>3</sup>	pH	Solubilidad a temperatura de 27 <sup>o</sup> C y 60 <sup>o</sup> C			
			Agua dulce	Agua Salina	LCO	Xileno
Inhibidor de corrosión 14	0.990	12.29	Poco soluble	Poco Soluble	Poco Soluble	Poco Soluble
Secuestrante de hierro LS-24	1.203	1.00	Soluble	Soluble	Poco Soluble	Poco Soluble
Emulgente Cationico	1.101	7.51	Soluble	Soluble	Poco soluble	Poco soluble
Rompedor	0.824	5.17	Insoluble	Insoluble	Soluble	Soluble

En cuanto a la temperatura de turbidez en la Tabla IV pueden observarse los resultados

Tabla IV Resultados de la determinación de la temperatura de turbidez de los productos.

Producto	Temperatura de Turbidez
----------	-------------------------



	Agua dulce	Agua salina	Xileno
Inhibidor de corrosión 14 a 0.5%	>90° C	-	-
Secuestrante de hierro LS 24 a 2.5%	>90° C	>90° C	>90° C
Emulgente Cationico a 1%	85° C	>90° C	-
Rompedor A a 0.1%	75° C	>90° C	>90° C

Como se observa la temperatura de turbidez para todos los aditivos en las condiciones evaluadas resultan superiores a los 60°C, indicándonos que no ocurre descomposición de los mismos durante su empleo en el interior del pozo.

En la tabla V se muestran los resultados de la determinación de las propiedades de filtración (PF), el cual se determina mediante la relación, factor de resistencia (FR), factor de resistencia residual FSR

Tabla V Resultados obtenidos en la determinación de las propiedades de filtración

Muestra	FS	FSR	PF	Formación
Inhibidor 14 0.5%	0.99	0.96	1.33	Vía Blanca
Inhibidor14 0.7%	0.63	0.62	1.01	Vía Blanca
Rompedor 0.1%	1.18	0.86	1.18	Vía Blanca
Inhibidor14 0.5%	1.02	1.25	1.08	Majaguillar
Inhibidor14 0.7%	1.32	1.57	1.16	Majaguillar
Rompedor 0.1%	0.51	0.73	0.97	Afloramiento Loma Bonachea
Tensoactivo 1%	0.40	0.38	1.09	Afloramiento Loma Bonachea
Secuestrante LS-24 2.5%	0.89	0.90	0.98	Arena de cuarzo

En todos los casos se observa la similitud entre los valores de FS Y FSR lo que permite afirmar que los aditivos evaluados no causan obstrucciones en el medio poroso. Los valores de PF en todos los casos son muy cercanos o mayores que 1, lo que permite afirmar que las propiedades de filtración son satisfactorias

En la tabla VI se presentan los resultados de la humectabilidad empleando el método de la botella, para las condiciones:

- Formación Vía Blanca y Arena de cuarzo con BJ 226 para evaluar el yacimiento Boca de Jaruco
- Formación Majaguillar y Arena de cuarzo con Var 555 para evaluar el yacimiento de Varadero

Tabla VI Resultados de las pruebas de humectabilidad por el método de la botella

Roca	producto	Resultados	Observaciones
------	----------	------------	---------------



Vía Blanca	Inhib 14 0.5%	La formación se mantiene impregnada de petróleo, no hay desprendimiento del mismo.	Carácter oleohumectante
Arena de Cuarzo	LS-24 1.5 %	Se observa desprendimiento de petróleo, la formación se mantiene limpia, suelta sin estar impregnada de petróleo, se observa acuohumectante, pero parel caso de la formación seríaoleohumectante.	Carácter oleohumectante
Vía Blanca	Tensoactivo 1%	La formación se mantiene sucia, impregnada de petróleo, no existe desprendimiento de petróleo	Carácter oleohumectante
	Rompedor 0.1%	La formación se mantiene sucia, impregnada de petróleo	Carácter oleohumectante
	Agua de Capa	La formación se observa impregnada de petróleo, las misma se hace movible, despegándose de las paredes,	Ligero carácter acuohumectante
Majaguillar	Inhib 14 0.5%	Se observa desprendimiento de petróleo, la formación se limpia, se hace movible, el petróleo se encuentra fundamentalmente en la superficie de la formación y unas partículas de petróleo en la superficie del líquido	Carácter acuohumectante
Arena de cuarzo	LS-24 1.5 %	Al añadir el producto se observa que existe desprendimiento, la formación se mantiene limpia y el petróleo cae mayormente encima de la formación, no en el interior, pudiera observarse cierto carácter acuohumectante, por lo que al ser referido al la formación es oleohumectante	Carácter oleohumectante
Majaguillar	Rompedor 0.1%	El petróleo se desprende de la formación, la misma se hace movible, el petróleo se encuentra en forma de un bolsón al estar mezclado con partículas finas de la formación	Carácter parcialmente acuohumectante
	Tensoactivo 1%	Existe desprendimiento de petróleo, la formación se mantiene suelta, cambia la formación de coloración, dando la impresión de no estar muy limpia	Carácter parcialmente acuohumectante
	Agua de Capa	Al añadir el agua de capa la formación se hace movible, fácil de agitar, se observa desprendimiento de petróleo, quedan bolsones de petróleo en la superficie de la formación	Carácter parcialmente acuohumectante

De la tabla anterior podemos inferir que para el caso de la formación Vía Blanca los productos probados cambian las características de la misma de ligero acuohumentante a oleohumectante., mientras que en el caso de Majaguillar todos los productos mantienen el carácter acuohumectante o parcialmente acuohumectante de la formación. .

Con la información suministrada por todos los ensayos previos se formularon los fluidos ácido aromático emulsionados incorporando todos los aditivos evaluados, teniendo como premisa lograr adecuadas estabilidad y compatibilidad con la formación y el petróleo.

De todos los fluidos formulados se seleccionó el identificado como No1, por ser el que ofreció las mejores características de estabilidad y compatibilidad. El mismo presenta la siguiente composición:



HCL al 15%; Inhibidor de corrosión INH-14 al 0.5%; secuestrante LS-24 al 1.5%; Emulgente catiónico al 0.32%; rompedor de emulsión al 1 %, LCO.

En la tabla VII se reflejan los resultados de la estabilidad a temperatura de 30 °C

Tabla VII Resultados de la estabilidad a temperatura de 30 °C

Tiempo ( minutos )	% de fases separadas.
0	0
60	17
120	33
180	42
240	50
300	58

El fluido mostró buena estabilidad observándose una separación lenta, lo que garantiza que la misma no se rompa antes de ser inyectada al pozo. Adicionalmente debe señalarse que la emulsión después que se ha separado totalmente puede regenerarse con agitación.

En la tabla VIII se muestran los resultados de los ensayos de compatibilidad realizados a temperatura de 60° C, entre los crudos Varadero 2 y Varadero 681 y el fluido ácido reaccionado con roca de caliza.

Tabla VIII Ensayos de compatibilidad a temperatura de 60° C entre el crudo Varadero 2 y Varadero 681 con el fluido ácido reaccionado con roca de caliza.

Tipo de Petróleo	% de fase acuosa separada / tiempo en minutos				
	0	10	30	40	60
Varadero 2	0	54	91	100	100
Varadero 681	0	55	94	94	94

En ambos casos se obtiene que una rápida separación de fases, a los 30 minutos se observa mas de 90 % de separación , lo cual es evidencia de que el fluido analizado no forma emulsiones estables con el petróleo de la formación.

En la tabla IX se reflejan los resultados de la compatibilidad a temperatura de 50 °C, del crudo Boca de Jaruco 800 y el fluido ácido reaccionado con roca de caliza.

Tabla IX Ensayos de compatibilidad a temperatura de 60° C del crudo Boca de Jaruco 800 con el fluido ácido reaccionado con roca de caliza.

Tipo de Petróleo	% de fase acuosa separada / tiempo en minutos				
	0	10	30	40	60
Boca de Jaruco 800	0	54	91	100	100

Se observa el mismo comportamiento que en el caso anterior obteniéndose una separación de fases de mas del 90% en el lapso de 30 minutos.

Para evaluar el comportamiento de la formulación ácida emulsionada frente a la roca, de las pruebas de compatibilidad realizadas con el crudo BJ-800 se tomó una muestra del





fluido antes y después de reaccionar con la roca, para su caracterización . En la tabla X se reflejan los resultados

Tabla X Resultados de la caracterización del fluido antes y después de reaccionar con la roca caliza

Análisis	Fluido ácido sin reaccionar	Fluido ácido reaccionado
pH	Menor que 0.5	0.8
Densidad g/cm <sup>3</sup>	1.074	-
Acidez %	16.6	0.92
Calcio mg/l	0	64000
Magnesio mg/ l	0	1216
Hierro mg/l	0	860

Al comparar los resultados, ellos nos indican un buen completamiento de la reacción entre la formulación ácida y la caliza de la formación, dado por el descenso en el valor de acidez y por el incremento obtenido en las concentraciones de calcio, magnesio y hierro.

En el caso del valor de pH obtenido en el ácido reaccionado, nótese que el valor se mantiene por debajo de 1, esto se debe a la acción secuestrante del aditivo LS-24, que fue capaz de mantener bajo el pH aún cuando el ácido estaba totalmente gastado, lográndose con esto que no se produzcan precipitados de hierro sobre la formación.

Adicionalmente se determinó la influencia del fluido empleado en el tratamiento sobre la viscosidad del petróleo. En la tabla XI se refleja dicho comportamiento.

Tabla XI Comportamiento de la viscosidad antes y después del tratamiento .

Muestra de Petróleo	Viscosidad Cp		Viscosidad Cp	
	Antes del tratamiento 30° C	50° C	Después del tratamiento 30° C	50° C
Varadero 2	93028	1086	2645	434
Varadero 681	31686	4817	2689	564

Por efecto del tratamiento se produce una disminución considerable de la viscosidad, la cual resulta mas evidente a temperatura ambiente, aspecto que debe desatacarse ya que se facilita la fluencia del petróleo a través de la formación.

## CONCLUSIONES

1. El estudio de formulación de fluido ácido aromático emulsionado empleando un tensoactivo catiónico, reveló su idoneidad para obtener emulsiones de adecuada estabilidad tanto a temperatura ambiente como a 60 °C, propias para la estimulación de reservorios carbonatados.
2. El estudio de dosificación del emulsificante demostró que trabajando a dosis entre 0.5 – 0.7 % se obtienen los mejores valores de estabilidad. En este rango fueron observados los menores valores de tensión interfacial.
3. La formulación de desemulsionante nacional resultó efectiva tanto en emulsiones aniónicas como catiónicas exhibiendo un comportamiento similar al del producto comercial aplicado a la misma dosis.



4. Se obtuvo una formulación de fluido ácido aromático emulsionado que reúne los requisitos para su aplicación en la estimulación de reservorios, dado por poseer buenas propiedades de filtración, la estabilidad y compatibilidad en las condiciones estudiadas fue adecuada, no se originan emulsiones con el petróleo de la formación y por efecto del tratamiento se observa una reducción considerable en la viscosidad del petróleo tanto a temperatura ambiente como a 60° C.

## BIBLIOGRAFÍA

- Casal A.M. 2004 Proyecto Desarrollo de aditivos químicos para estimulación de reservorios. Informe de la Etapa 2.1 Obtención y/ o formulación de agentes emulsificantes y desemulsificantes. Ceinpet. Ciudad de la Habana .Cuba
- Casal A.M. 2003 Diseño de un sistema ácido aromático emulsionado para estimulación de reservorios carbonatados en yacimientos de petróleo y gas. Memorias del V Congreso Cubano de Geología y Minería. Ciudad de la Habana .Cuba
- Ceinpet 2002 Diseño de un sistema ácido aromático emulsionado para estimulación de reservorios carbonatados en yacimientos de petróleo y gas. Certificado de autor de Patente de Invención N° 22819 . Ciudad de la Habana .Cuba
- Dallmazon C.1997Development of new green emulsifier for oil production SPE Oil Field Chem. Int. Symp ( SPE 6502 )
- Echevarría F.S. 2002 Incremento en la producción de petróleo empleando ácido emulsionado. Trabajo presentado al XIV Forum de Ciencia y Técnica. Ciudad de la Habana .Cuba
- Gardner T.R.1991 Well acidizing compositions and method. US Patent 5 034140
- Gutierrez L. Proyecto Desarrollo de aditivos químicos para estimulación de reservorios. Informe de la Etapa 3.1 Obtención y/ o formulación de agentes estabilizadores- secuestrantes de hierro. Ceinpet. Ciudad de la Habana .Cuba
- Hoefner M. L. 1987 Role of diffusion on matrix acidizing. *JPT* No 2: 70-78
- Hoesmer E. 1992 Emulsificant composition US Patent 50303220
- Martín E.B. Proyecto Desarrollo de aditivos químicos para estimulación de reservorios. Informe de la Etapa 4.1 Obtención y/ o formulación de inhibidores de la corrosión. Ceinpet. Ciudad de la Habana .Cuba
- Ríos E. 2001 Daños a la formación y estimulación de pozos. Memoria de Curso. PDVSA Venezuela
- Strom-Kristiansen T.1995 Demulsification by use of heat and emulsion breaker. *Petroleum Abstract* N° 615598 18 th Envirom. Can. Arctic & m ar oilspill prog.Tech. Seminar Edmonton Canada
- UNE 55-700-82. 1982 Agentes de superficie. Determinación de la concentración crítica para la formación de micelas.



## **EVALUACIÓN DE LAS CAUSAS DE LOS ELEVADOS % DE AGUA EN POZOS DEL YACIMIENTO CANASÍ - PUERTO ESCONDIDO EN LA PROVINCIA LA HABANA, UTILIZANDO HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.**

**Yusneurys Pérez Martínez<sup>1</sup>, Brey D.<sup>2</sup>, Alvarez Castro J.<sup>3</sup>, Rodríguez M. Raúl.<sup>4</sup>**

(1) (2) (3) (4) Centro de Investigaciones del Petróleo: Washington # 169, Esq. a Churruca, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba; e-mail: [yuspm@ceinpet.cupet.cu](mailto:yuspm@ceinpet.cupet.cu)

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se evalúan las posibles causas de los elevados % de entrada de agua a los pozos y se realiza una valoración basada en técnicas estadísticas de cual(es) de esas posibles causas es la de mayor peso sobre la entrada de agua. La herramienta estadística utilizada fue el “*Coefficiente de Correlación*”. Para el estudio se utilizaron los resultados productivos de los pozos y parámetros del régimen de extracción, distancia al CAP, etc., apoyándonos además en un análisis del estado actual de las reservas el cual se realizó por dos variantes (para Puerto Escondido)

Los yacimientos estudiados fueron Canasí - Puerto Escondido y Yumurí – Seboruco. Se determinó que para el yacimiento Yumurí lo que más influye en la entrada de agua a los pozos es la producción acumulada de petróleo y no se observa una tendencia clara en la distribución en planta ni en la posición estructural de los pozos con mayores entradas de agua. En el yacimiento Canasí, el mayor peso sobre la entrada de agua lo tiene la distancia al CAP pues hay una tendencia de aumentar los % de agua a los pozos mientras menor es la distancia al CAP. Por último en el yacimiento Puerto Escondido se nota que existen diversos factores que han influido de manera diferenciada en la entrada de agua a los pozos. Tenemos pozos cuya mayor influencia está dada por la cercanía al CAP; en otros es evidente la entrada de agua producto de la explotación del yacimiento (este último caso responde a la mayoría) pues se nota una correspondencia en algunos pozos de que a mayor producción acumulada mayor entrada de agua y otro factor que aunque se debe estudiar es muy importante y es la densidad de agrietamiento.

### **ABSTRACT**

The present paper consists in the evaluation of the possible causes of high %s of water entrance to the oil wells and the valuation of which of those causes have more weight on the water entrance based on statistical techniques. The used statistical tool was the “*Correlation coefficient*”. Productive results and parameters of the extraction regime such as distance from the well to Oil/ Water Contact, choke, etc. were used. Likewise, an analysis of the current state of the reserves was carried out for two variants (for Puerto Escondido only).

The studied Oil Deposit was Canasí – Puerto Escondido. Analyzing the group of data and integrating all information (statistical results, geological information, and others) concerning that deposit we concluded that diverse factors have been influencing the differed water entrance to the wells. We noticed that there are wells whose bigger influence is given by the proximity to the Oil/ Water Contact; in other cases it is evident that the water entrance is due to the exploitation regime; we notice that in some wells bigger values of oil production correspond to bigger water entrance. At last, we noticed that the fracturing density is very important, although it has to be studied with much more detail in the future to clarify this aspect.



## INTRODUCCIÓN

Desde hace unos pocos meses en el yacimiento Canasí - Puerto Escondido se ha observado un incremento de la entrada de agua a los pozos, siendo el caso más crítico el del sector Puerto Escondido.

El presente estudio se realizó con el fin de determinar cuales son las causas que han influido en el incremento de la entrada de agua analizando en conjunto los datos de producción obtenidos hasta abril del pasado año, pues conociendo las causas de dicho comportamiento es posible implementar medidas que ayuden a atenuar la situación y lograr mejores resultados productivos.

Se parte del análisis y conocimiento de las diferentes variables que pudieran tener influencia en la entrada de agua, para posteriormente lograr establecer determinadas dependencias estadísticas, que ayuden a obtener un criterio para lograr determinar cual de las posibles causas tomadas de antemano es la de mayor significación en dicho comportamiento.

La solución estadística está precisamente en el cálculo de los coeficientes de correlación. Dicho estadígrafo indica cuan relacionados están los datos y que tipo de relación presentan. Además es posible determinar ecuaciones que representen tales dependencias entre las variables utilizando el análisis de regresión, ya sea simple o múltiple para el caso de que se observen relaciones fuertes entre varias variables, de modo que se explique con un grado de certidumbre apropiado la variabilidad del sistema.

Dada a las especificidades de la presente investigación solamente nos limitamos a la determinación de la matriz de correlación, pues con la utilización de dicho parámetro se logró esclarecer determinadas cuestiones que no era posible apreciar con la simple inspección de los datos.

Al integrar la interpretación estadística con la geológica del área se logran establecer determinadas regularidades que explican en la mayoría de los casos comportamientos específicos de pozos con elevada entrada de agua. Las cuales serán explicadas posteriormente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación partió de los datos de producción históricos y del análisis minucioso de las posibles variables que pueden influir en la entrada o no de agua a los pozos de petróleo. Así, en un inicio se tomaron las siguientes variables: producción acumulada de petróleo, distancia del caño de los pozos al Contacto Agua/ Petróleo (CAP), el choque, la depresión, y además los valores en % de la entrada de agua. A dichos datos se le realizó en primer lugar una inspección visual previa para ver el comportamiento general de los mismos y lograr determinar tendencias en los datos de una forma cualitativa. Posteriormente se pasó al estudio estadístico de los datos (análisis exploratorio de datos) realizándose la estadística descriptiva.

Por otro lado se analizó el estado actual de las reservas, para lo cual se realizó una actualización de las mismas para el sector Puerto Escondido por ser el de mayores problemas de entrada de agua, pues se pensaba en la posibilidad de la ocurrencia de tal proceso producto a la misma extracción del petróleo, que como se conoce, en la medida que el pozo produce las reservas de su área de drenaje, el CAP tiende a ir ascendiendo impulsando además el petróleo suprayacente hacia el pozo. De este modo al cabo de un determinado periodo de tiempo



comenzará la entrada de agua a los mismos. El tiempo en el que el pozo comienza a inundarse de agua depende entre otras cosas, del régimen de explotación del yacimiento, de las propiedades colectoras (porosidad y permeabilidad), etc. Por éste último motivo es que se analizó además la distribución de la densidad de fracturas en el yacimiento, teniendo en cuenta que el tipo de reservorio que se presenta es del tipo carbonatado – fracturado. Para esto se utilizaron los registros geofísicos y las imágenes FMI y FMS, logrando confeccionar mapas de distribución de la densidad de fracturas, el cual se comparó con el estructural y litofacial, pues se sabe que la densidad de fracturas, depende del tipo de litología y además de la posición estructural en que se encuentre el pozo. Es decir, que existe una diferenciación notable en la densidad de agrietamiento, dirección y tipo de las fracturas en las diferentes partes de las estructuras, así, en la zona de cúpula de los pliegues escamas se tendrá un mayor desarrollo de la fracturación, y prevalecerán las fracturas abiertas, muy importantes para la acumulación del petróleo. Por su parte en la zona de los flancos no habrá un desarrollo insipiente de la fracturación. Evidentemente aquí influye el tipo de litología, pues el grado de competencia de las rocas determina el grado de fracturación que ésta pueda tener.

Para determinar el grado de relación que tienen las variables se utilizó el “coeficiente de correlación”, realizado con ayuda de un software especializado. Este estadístico se determina por la relación entre la covarianza de dichas propiedades y el producto de sus varianzas lo cual da un valor normalizado que muestra una medida de la asociación (relación) lineal entre dos propiedades o variables. Los valores de los coeficientes varían entre  $-1$  y  $1$ , un valor del coeficiente positivo indica que las variables varían en la misma dirección (relación directa) mientras que un coeficiente de correlación negativo indica que las variables varían en direcciones opuestas (relación inversa). Las variables que son estadísticamente independientes tienen una correlación esperada de cero.

El cálculo de reserva se realizó de dos formas: 1- utilizando el área de influencia de los pozos de 200 m y realizando el cálculo para cada pozo por separado y 2- utilizando el área del manto  $E_1$ , excluyendo del cálculo los pozos largos que se sabe que no extraen petróleo de dicha escama. La primera forma de cálculo se realizó con el fin de comparar las reservas iniciales extraíbles de cada pozo con su producción acumulada y determinar la proporción de petróleo extraído y que queda por extraer con el fin de evaluar el estado actual de las reservas de cada pozo; la segunda con el fin de determinar el estado de reservas para la escama  $E_1$ , pues es ésta la mayor explotada hasta la actualidad y con mayor número de pozos.

Para el estudio de la fracturación fueron utilizados los perfiles de imágenes digitalizados (FMI y FMS) de los pozos Canasí 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9 y PE 7, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, con lo cual se realizó un banco de datos para determinar la densidad de fracturas y su promedio cada 50 m.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio se realizó por separado para cada sector del yacimiento: Canasí y Puerto - Escondido. En los que se obtuvieron los siguientes resultados.

### Sector Canasí.

#### *Análisis de los datos de producción.*

En éste sector, como se aprecia en la tabla I, hay pozos con elevadas entradas de agua – Canasí – 1 (83 %), Canasí – 4 y el Canasí – 2 con 76 y 57 % respectivamente-. Para éste yacimiento en particular la entrada de agua parece estar dada principalmente por la cercanía de



los pozos al contacto agua /petróleo y en menor medida la producción de petróleo acumulada y además se tienen casos en los que al parecer actúa en conjunto con otros factores. Por otro lado se presentan situaciones en los que a pesar de no haber mucha diferencia en las distancias al CAP la entrada de agua si se manifiesta diferencialmente (Canasí -6 y Canasí -5 que tienen solo dos metros de diferencia en la distancia al CAP (122 y 120 m respectivamente) y en el primero solo entra 0.3 % de agua y en el segundo 18 %), demostrando la influencia de otros factores. Un factor que al parecer es el causante de éste comportamiento es la intensidad de agrietamiento diferenciada en las zonas de los pozos, pues se sabe que el ascenso del agua ocurre en dos sentidos principales: 1- vertical, controlado por las grietas subverticales las que facilitan las vías para el ascenso del agua y 2- oblicuo en sentido sur a norte, en el que el agua asciende a través del agrietamiento del techo de las estructuras y por el contacto entre el reservorio y el sello.

Obsérvese que los pozos que presentan mayor producción acumulada son: Canasí - 6, 7, 2 y 5 y con excepción de Canasí - 2 (57 %) no presentan valores de entrada de agua elevados y por ejemplo el pozo Canasí 6 que es el que mayor producción acumulada de petróleo presenta tan solo entra un 0.3 % el cual es el valor más bajo de todos los pozos.

Por otro lado analicemos los casos de los pozos que presentan mayor entrada de agua: los Canasí 1, 4, 2, 9 y 8, que como se aprecia son precisamente los que presentan menores distancias al CAP y sus valores de producciones acumuladas están en un valor moderadamente alto cercano a la media. El Canasí - 1 que presenta una entrada de agua del 83 % no es el que presenta los mayores valores de producción de petróleo pero se aprecia que la distancia al CAP es de 100 m, lo cual parece que es la variable de mayor peso en este pozo. El pozo Canasí - 4 por su parte presenta una gran entrada de agua pero también se encuentra poco distante del contacto (aunque más que el Can-1) y la producción no es tan elevada de modo que aquí también es el CAP el de mayor influencia en el % elevado de agua. Y así sucesivamente ocurre algo parecido con los pozos Canasí 2, 8 y 9 que son los pozos que más cerca están del contacto lo cual parece indicar que esta cercanía es la causante de las entradas de agua. De éstos pozos, tres se encuentran hacia la parte más oriental del yacimiento, excepto el Canasí - 3 que se encuentra en un nivel más alto a una distancia al CAP de 126 m.

En la tabla II se muestra la matriz de correlación de las variables. La misma muestra poca relación estadística entre las variables, pero en ambos casos con valores negativos, que indica relación inversa entre los datos, lo cual evidentemente está enmascarado el comportamiento por la influencia de otros factores, es decir que al influir factores con mayor o menor peso en los pozos el parámetro estadístico que se calculó con todos los datos da un resultado que no se puede interpretar de manera superficial, se debe acudir a la interpretación de otras variables para poder explicar el fenómeno.

De modo general se puede plantear que el mayor peso sobre la entrada de agua en los pozos en el área de Canasí lo tiene la distancia al CAP pues como se vio anteriormente hay una tendencia de aumentar los % de agua a los pozos mientras menor es la distancia al CAP. En otros como el Canasí -5 la mayor entrada de agua está dada por la existencia de una mayor densidad de fractura que explica el ascenso más rápido del agua por las grietas (ver Figura II). Otros pozos que presentan densidad de fractura apreciable son los Canasí - 3 y 8, el primero con poca entrada de agua pero con poca producción de petróleo y además mayor distancia al CAP y el segundo con elevado % de agua explicado del mismo modo que el Canasí -5.





## Sector Puerto - Escondido

Por ser éste yacimiento el de mayores problemas se le realizó:

1. Cálculo de reserva y un análisis del mismo.
2. Análisis de los resultados productivos utilizando herramientas estadísticas

### *Análisis de los resultados del Cálculo de Reservas:*

Este análisis se realizó solo para el yacimiento Puerto Escondido por las causas anteriormente señaladas y se realizó con el fin de evaluar el estado actual de las reservas en la escama  $E_1$  dado a que es la que mayor número de pozos productores presenta y por ende la mayor explotada. La escama  $E_1$  presenta las mejores propiedades colectoras del yacimiento (ver figura II), donde el papel fundamental en la calidad del reservorio lo juega el intenso agrietamiento que presentan las rocas hacia esta zona, hecho que pudiera influir de una manera importante en la entrada de agua en caso de una mala explotación, pues se sabe que la mayor cantidad de fracturas presentan una dirección vertical a subvertical que pudieran favorecer al ascenso del agua a través de ellas.

Con tal de cumplimentar tales objetivos se realizaron los cálculos siguiendo dos variantes:

1. Tomando como área de influencia de 200 m alrededor de los pozos realizando el cálculo para cada pozo por separado con el fin comparar el estado de las reservas por pozo y evaluar sus perspectivas futuras (ver tabla V).
2. Tomando solo el área de la escama  $E_1$  (tabla VI), con el fin de valorar el estado de reservas de dicha escama pues se sabe que es la que tiene mayor números de pozos productores dada sus mejores propiedades colectoras.

Si analizamos la segunda variante (ver tabla VI) tenemos que la reserva inicial in situ para la escama  $E_1$  en su totalidad, es de 45,013,800 m<sup>3</sup> y utilizando un coeficiente de recuperación de 7 % nos da una reserva extraíble inicial de 3,151,000 m<sup>3</sup>, de esa cantidad por resultados de producción se sabe que se ha extraído 1,674,900 m<sup>3</sup> lo cual representa un 53.16 % de recuperación de las reservas extraíbles y un 3.72 % de las reservas iniciales in situ lo cual indica que se ha extraído un poco más de la mitad de lo que se esperaba producir. Esto implica a su vez que queda por extraer un 46.84 % de reservas extraíbles, de modo que habrá que analizar la posibilidad de extraer mayor cantidad de petróleo para llegar a tasas de recuperación un poco más elevadas por cuanto las que se tienen en la actualidad son realmente bajas considerando los complicados problemas que presenta el yacimiento con el agua. Este % de recuperación evidentemente se verá aún más afectado si le restamos las producciones de los pozos en la escama  $E_2$ , pues en la producción acumulada tenemos también producciones de dicha escama.

La primera variante (tabla V) de cálculo muestra una reserva total in situ mayor, dado al incremento del área efectiva al considerar pozos que atraviesan la escama  $E_1$ . Así tenemos que la reserva inicial in situ total para los pozos es de 56,234,400 m<sup>3</sup> y la reserva recuperable inicial es de 3,936,400 m<sup>3</sup> considerando el 7% de recuperación. Esto quiere decir que considerando todos los pozos se ha extraído un 42.55 % de las reservas recuperables quedando por extraer un 57.45 %, esto tomando como producción acumulada la de los pozos cortos (escamas  $E_1$  y  $E_2$ ) al igual que para el caso anterior. Esto a su vez implica que la tasa de recuperación sea aún menor pues hasta la fecha se ha recuperado tan solo un 2.98 % de las reservas iniciales in situ.

Ahora bien, si analizamos los pozos por separado (tabla V) tenemos que hay un solo pozo (Puerto Escondido -6) que ya ha entregado la cantidad de petróleo calculada inicialmente e



incluso ya ha alcanzado una recuperación de 8.1 % que representa un 115 % de recuperación de reservas extraíbles y no es el que presentaba los mayores problemas de entrada de agua hasta la fecha del análisis, pues se sabe que en la actualidad el pozo se encuentra cerrado por inundación. Este comportamiento particular de éste pozo pudiera estar dado por presentar las rocas reservorios en éste pozo las mejores propiedades colectoras o porque su lejanía al contacto (140 m) ha permitido extraer de manera satisfactoria más de lo calculado inicialmente. Lo anterior es supuesto, debido a que en el estudio de agrietamiento no se tenían datos de densidad de fracturas ni imágenes FMI y FMS del pozo.

Hay otros pozos que también presentan tasas de recuperación aceptables, tal y como son los casos de Puerto Escondido -9, 7 y 5 que presentan 95 %, 70% y 45 % respectivamente de recuperación de reservas extraíbles.

Se tienen pozos en los que los % de recuperación son muy bajos como son los casos de PE-3, 12 y 10 que aún no alcanzan el 20 % de recuperación de reservas extraíbles. De estos los más críticos son los PE-10 y 12 los cuales presentan un 99 % y 85 % de agua respectivamente (más agua presentan); para determinar las causas se deberán revisar los parámetros con los que se ha explotado el yacimiento hasta la fecha.

Por otro lado se tienen los pozos que presentan % de recuperación moderados (PE-4, 8, 11 y el Canasí - 2), pues presentan valores de recuperación entre 25 y 40 %. De ellos presentan elevados % de agua el Canasí-2, PE -4 y PE-11, éste último con un 80 % de agua. Pero para éstos casos al parecer está dado por la cercanía al CAP que se encuentra a una distancia del pozo de 104 m.

Es importante destacar aquí que excepto los pozos Puerto Escondido -10 y 12 que a nuestro entender son los casos extremos en el yacimiento (presentan elevados % de agua y sin embargo no alcanzan el 20 % de extracción de petróleo), se observa una tendencia de aumentar el % de entrada de agua en la medida que los pozos han alcanzado un volumen de producción determinado añadiéndole además la influencia de la cercanía al CAP, pues también se observa una tendencia a disminuir las distancias al CAP con el aumento de los % de agua. En tales casos se encuentran los pozos PE-9, 7, 4 y 6.

En resumen se puede plantear que en Puerto Escondido existen diversos factores que han influido de manera diferenciada en la entrada de agua a los pozos. Por cuanto tenemos pozos cuya mayor influencia está dada por la cercanía al CAP, la cual disminuiría aún más si se considera que ocurre un levantamiento del nivel del agua en la escama E<sub>2</sub>; en otros es evidente la entrada de agua producto de la explotación del yacimiento (este último caso responde a la mayoría) pues se nota una correspondencia en algunos pozos de que a mayor producción acumulada mayor entrada de agua y otro factor que aunque se debe estudiar más a fondo debido a la poca información que se tiene de los pozos de Puerto Escondido (ver figura II) al parecer también tiene un peso importante, que es el agrietamiento, pues se sabe que las grietas predominantes son las verticales a subverticales, las cuales evidentemente favorecen al ascenso del agua a través de ellas hacia los pozos, esto ayudaría a explicar, por qué pozos que se encuentran a mayor distancia del CAP presentan mayores entradas de agua (PE-11, ver figura II) y en otros casos no.



### *Análisis de los datos de producción utilizando herramientas estadísticas*

Se observa un elevado % de pozos con considerables entradas de agua (70 % de los pozos del manto E<sub>1</sub> presentan más del 30 % de agua) que varía entre cero (PE-8) y un 99 % de agua (PE-10). El valor medio de éste parámetro es de 50.18 de modo que tenemos en éste manto más del 50 % de los pozos con entradas de agua mayor que la media lo cual indica los serios problemas que se presentan en éste sentido (Ver tabla III).

Para la realización del análisis se tomaron solamente los pozos localizados en el manto E<sub>1</sub> que son la mayoría (solo 4 atraviesan los tres mantos).

Como en los casos anteriores se partió de la tabla de resultados productivos históricos de cada pozo (ver tabla III). Analizando los datos de dicha tabla y observando el mapa estructural (Figura I) con la ubicación de los pozos se aprecia que todos los pozos que atraviesan el manto E<sub>1</sub> y llegan al E<sub>2</sub>, tienen un elevado % de agua a lo cual se le debe buscar una explicación, pues se pudiera pensar de que lo que ocurre es un levantamiento del nivel del CAP y que es por eso que ocurre la entrada de agua a dichos pozos lo cual no pudiera ser correcto porque se tienen por ejemplo el caso del PE -14 que no tiene entrada de agua y atraviesa los tres mantos a una profundidad de 119 m y además pozos que estando en la escama E<sub>1</sub> y también presentan elevadas entradas de agua.

Los pozos que no llegan al segundo manto generalmente tienen valores de agua bajos con excepción de los PE-10, 5 y 4 los cuales presentan 99, 60 y 40 % respectivamente y presentan poca distancia al CAP. Así, tenemos que los PE-8 y 3 los cuales tienen valores de agua muy bajos pero está dado por estar a una mayor distancia al CAP pues el PE-8 se encuentra a una distancia al CAP en el orden de los 158 m la cual es bastante grande si lo comparamos con los valores de los demás pozos.

Todo lo visto anteriormente implica que no haya una relación directa fuerte entre las variables Qp(ac) y % de agua, pues en la matriz de correlación (tabla -IV) se observa un valor de 0.31. Los pozos que contribuyen con tal correlación son los PE-9, 11, 7 y 6, los cuales demuestran el incremento de la entrada de agua producto de la extracción de petróleo por cuanto se observa un incremento de los % de agua hacia estos pozos, en otras palabras en éstos pozos al parecer la producción de petróleo también juega un papel importante en el proceso.

Es notable la correlación que presenta el % de agua con la distancia al CAP (-0.74) para éste yacimiento lo cual reafirma lo planteado con anterioridad. Esto quiere decir que de manera estadística éste comportamiento también es perceptible.

Con vista a profundizar un poco más en éste yacimiento se incluyó en el análisis las depresiones actuales de los pozos y el choke. Obsérvese que en la matriz de correlación que el choke tiene una influencia muy fuerte sobre los % de agua donde tiene un coeficiente de 0.64 que indica que mientras mayor es el choke, mayores son los valores de agua en el pozo, lo cual evidentemente concuerda con la teoría. Por otro lado la correlación entre la depresión y % de agua no es muy fuerte estadísticamente, lo cual pudiera interpretarse como una contradicción por cuanto a mayor choke también debe aumentar la depresión y si con el aumento del choke aumenta la entrada de agua debería ocurrir lo mismo con la depresión, lo cual está implícito en el valor positivo de correlación (0.18) pero es pequeño lo cual implica una relación estadística débil.



Parece indicar que en éste yacimiento tenemos varios factores que están influyendo en la entrada de agua a los pozos, pero de ellos los que más influyen son las distancias al CAP y los parámetros productivos como son depresión y choke con que se explotan los pozos en la actualidad añadiéndole además la producción acumulada en algunos pozos pues hay casos en los que se tienen elevadas entradas de agua dada por su producción acumulada considerable de petróleo. Por otro lado pudiera influir también la diferenciación en las propiedades colectoras del reservorio, dadas por la densidad de agrietamiento también diferenciado en las diferentes partes que están ubicados los pozos. De este modo sugerimos que se continúe realizando una investigación en éste sentido de modo que se logren esclarecer las causas específicas de las entradas de agua para cada pozo.

## CONCLUSIONES

1. El factor que influye de manera predominante en la entrada de agua a los pozos del yacimiento Canasí es la distancia al CAP, aunque existen pozos en los que la acción combinada de éste y otros factores son los que condicionan los elevados % de agua en los pozos.
2. Al parecer el agrietamiento diferenciado en las diferentes zonas de Canasí y Puerto Escondido es el factor responsable de entrada prematura de agua a pozos que presentan poca producción y mayores distancias al CAP.
3. En Puerto Escondido influyen varios factores en la entrada de agua a los pozos, pero al parecer el que tiene mayor peso es la distancia al CAP (coeficiente de correlación de  $-0.74$ ), pues existe una tendencia a aumentar los % mientras más cerca al contacto se encuentran los pozos, aunque hay casos en que está influenciada por la producción acumulada de petróleo como el caso del PE-6.
4. La entrada de agua del yacimiento Yumurí está mayormente influenciada por la producción acumulada de petróleo, aunque es probable que sea agudizada en algunos casos por presentar mayor densidad de agrietamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Castro J., et. al., 1998. Evaluación de Leads para la exploración de los bloques 6, 7, 9 y 10. Archivo Ceinpet.
2. Salazar Víctor M., et. al., Octubre, 2003. Estudio integrado Puerto Escondido – Canasí. Modelo dinámico, simulación numérica. Archivo Ceinpet.
3. Dixon Wilfrid J. y Massey Frank, Jr., 1974. Introducción al análisis estadístico. Ediciones del Castillo.



## Tablas Y Figuras

Pozo	Qp (ac)	%	Dist. CAP
Can-006	206173.2	0.3	122
Can-007	181036.4	9	121
Can-002	173757.2	57	108
Can-005	173094.8	18	120
Can-003	163923	1.5	126
Can-004	103789.2	76	114
Can-001	66372.9	83	100
Can-008	45721.7	23	68
Can-009	6253.7	23	69

Tabla I - Resultados de producción del sector Canasí ordenados en orden descendente por la producción acumulada de petróleo.

	Qp (ac)	%	Dist. CAP
Qp (ac)	1		
%	-0.10	1	
Dist. CAP	0.59	-0.16	1

Tabla II- Tabla de correlación entre las variables Canasí

Pozo	Qp (ac)	% agua	Dist. CAP	Depresión (Atm)	Choke (mm)
PE-009	330869.3	83	116	1.0	15
PE-007	273046.6	73	104	1.4	14
PE-006	264723.7	32	140	2.0	20
PE-011	172917.7	80	104	21.0	25
PE-005	165422.3	60	100	1.6	10
PE-008	108915.3	0	158	0.2	5
PE-012	101947.4	85	106	13.0	15
PE-010	43958.7	99	106	0.7	30
PE-004	37179.1	40	140	15.5	
PE-003	2428.9	0.8	118		

Tabla III- Resultados de producción del sector Puerto Escondido ordenados por Qp(ac)

	Qp (ac)	% agua	Dist. CAP	Depresión	Choke
Qp (ac)	1.00				
% agua	0.31	1.00			
Dist. CAP	-0.12	-0.74	1.00		
Depresión	-0.35	0.18	-0.14	1.00	
Choke	-0.19	0.64	-0.41	0.34	1.00

TablaIV- Matriz de Correlación entre las variables Puerto Escondido







Categoría de Reservas	Pozos	Area Petrolífera	Hef/Hint 0.81	Espesor Efectivo	Coeficientes				Recursos Iniciales		Producción acum. hasta	Recursos Actuales		% Extraído de reservas In Situ.	
			H total		Poros.	Satur.	Recalc.	Recuper.	Recursos in Situ	Reservas Recuper.		Recursos in Situ	Reservas Recuper.		
		Mil m²	m	m	%	%	%	%	Mil m³	Mil m³	Mil m³	Mil m³	Mil m³	%	
Pr ob ad as	Canasí 2	414.9	262.0	212.2	0.14	0.83	0.91	0.07	9588.1	671.2	173.7	9414.4	497.5	1.8	
	P. Esc. 3	113.4	190.0	153.9	0.14	0.83	0.91	0.07	1900.5	133.0	2.4	1898.1	130.6	0.1	
	P. Esc. 4	112.7	190.0	153.9	0.14	0.83	0.91	0.07	1888.7	132.2	37.2	1851.5	95.0	2.0	
	P. Esc. 5	277.9	210.0	170.1	0.14	0.83	0.91	0.07	5147.5	360.3	165.4	4982.1	194.9	3.2	
	P. Esc. 6	207.1	180.0	145.8	0.14	0.83	0.91	0.07	3288.1	230.2	264.7	3023.4	-34.5	8.1	
	P. Esc. 7	300.7	210.0	170.1	0.14	0.83	0.91	0.07	5569.8	389.9	273.0	5296.8	116.9	4.9	
	P. Esc. 8	216.4	210.0	170.1	0.14	0.83	0.91	0.07	4008.4	280.6	108.9	3899.5	171.7	2.7	
	P. Esc. 9	233.0	240.0	194.4	0.14	0.83	0.91	0.07	4932.4	345.3	330.9	4601.5	14.4	6.7	
	P. Esc. 10	198.6	220.0	178.2	0.14	0.83	0.91	0.07	3853.8	269.8	43.9	3809.9	225.9	1.1	
	P. Esc. 11	389.2	190.0	153.9	0.14	0.83	0.91	0.07	6522.5	456.6	172.9	6349.6	283.7	2.7	
	P. Esc. 12	450.4	240.0	194.4	0.14	0.83	0.91	0.07	9534.5	667.4	101.9	9432.6	565.5	1.1	
Total Probada s		2914.3							56234.4	3936.4	1674.9	54559.5	2261.5		
						Totales In situ						De las reservas extraíbles			
						% que falta por extraer				4.02		% que queda por extraer		57.45	
						% Extraído de reservas				2.98		% Extraído de las reservas recup.		42.55	

Tabla V Cálculo de reservas tomando el área de influencia de 200 m a cada pozo.

Categoría de Reservas	Area Petrolífera	Hef/Hint 0.81	Espesor Efectivo	Coeficientes				Recursos Iniciales		Producción acum. hasta	Recursos Actuales	
		H total		Poros.	Satur.	Recálc.	Recuper.	Recursos in Situ	Reservas Recuper.		Recursos in Situ	Reservas Recuper.
	Mil m²	m	m	%	%	%	%	Mil m³	Mil m³	Mil m³	Mil m³	Mil m³
Probadas	2894.7	176.3	142.8	0.14	0.83	0.91	0.07	45013.8	3151.0	1674.9	43338.9	1476.1
Total Probadas	2894.7							45013.8	3151.0	1674.9	43338.9	1476.1
					Totales In situ					De las reservas extraíbles		
					% que falta por extraer				3.28		% que queda por extraer 46.84	
					% Extraído de reservas				3.72		% Extraído de las reservas recup. 53.16	

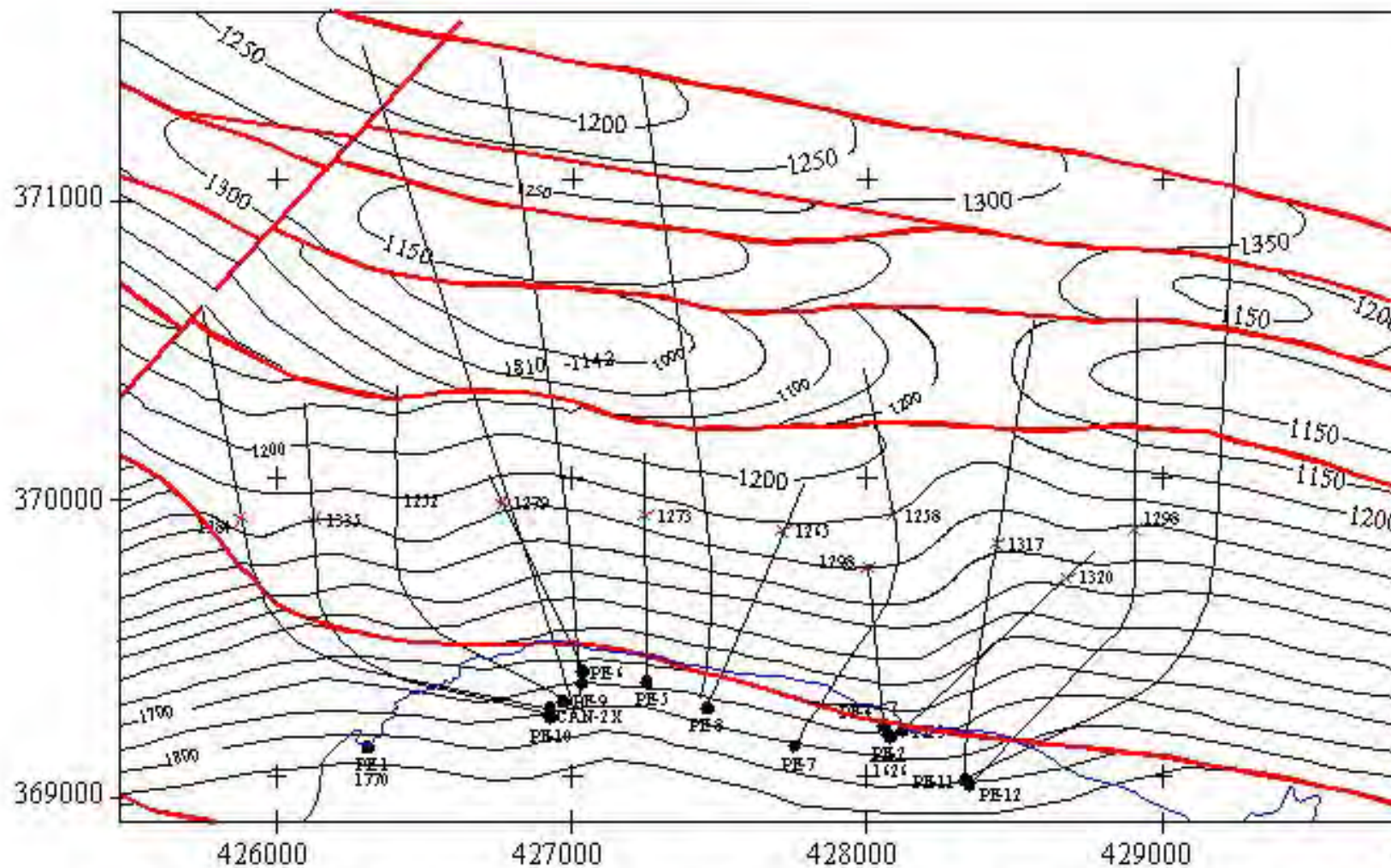
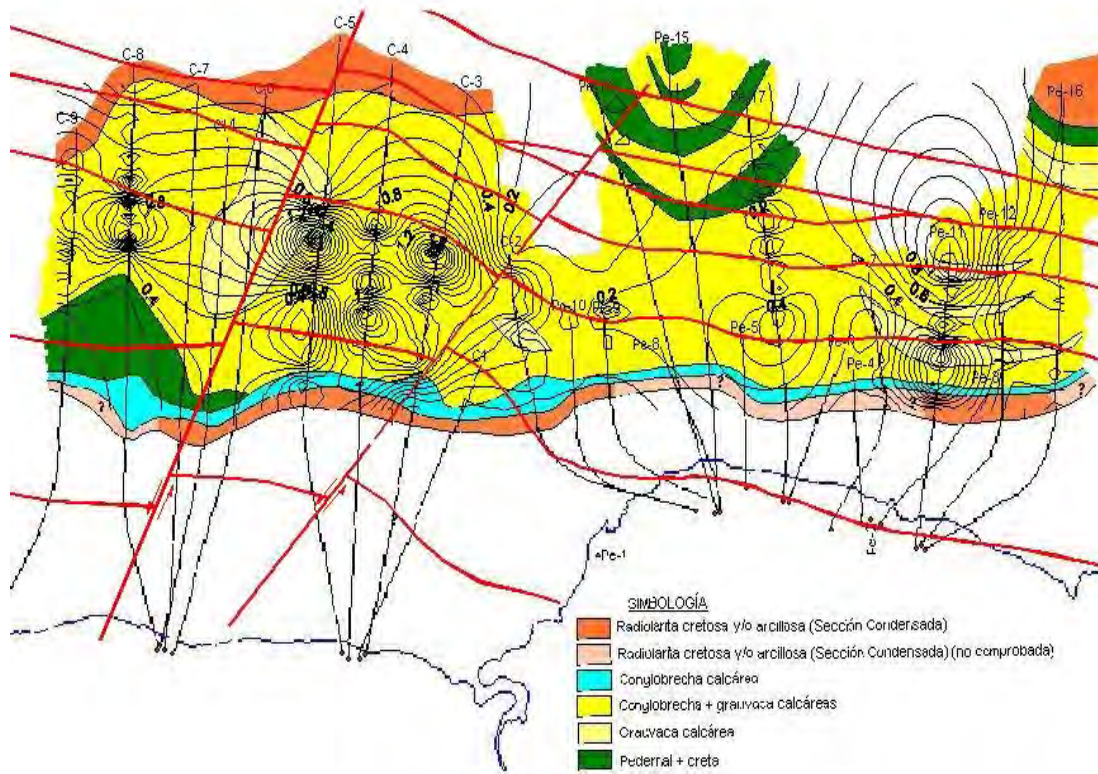


Figura I. Ubicación de los pozos del Yacimiento Puerto Escondido



**Figura II. Relación de la Densidad promedio de fracturas con el Mapa estructural y las Litofacies en el área Canasí - Puerto Escondido.**





## LS-24 AGENTE ESTABILIZADOR DE HIERRO PARA EL DISEÑO DE FLUIDOS EMPLEADOS EN LA ESTIMULACIÓN ÁCIDA DE RESERVORIOS CARBONATADOS.

**Lourdes Gutiérrez Calderón, Sara Derivet Zarzabal, Lourdes Lesmes Garrido, Ada Casal Viqueira, Félix Echevarría Pestana, Amalia Quesada Quintero, Isabel López Peláez, Leonel Martínez Martínez, Elsa Martín Domínguez, B. Spengler Fernández.**

*Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington 169 esquina a Churruca, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: [lgutierrez@ceinpet.cupet.cu](mailto:lgutierrez@ceinpet.cupet.cu).*

### RESUMEN

Los compuestos de hierro, principalmente el hidróxido de hierro, que precipitan durante los tratamientos de acidificación a un pozo, constituyen una de las causas más frecuentes de la reducción en la permeabilidad de la formación. La misma es ocasionada por materiales finos y precipitados que son difícilmente eliminados en los subsiguientes tratamientos de estimulación, afectando la productividad.

En orden de minimizar la precipitación de estos compuestos que contienen hierro, son usados durante la estimulación ácida agentes estabilizadores los cuales son imprescindibles para evitar el daño ocasionado a la formación por este concepto y la inevitable disminución de la productividad del pozo.

En la planificación experimental ha sido utilizado un diseño factorial  $2^3$  y más tarde fue reajustada la formulación del agente que mostró mejor efectividad, la cual se determina en términos de la concentración de hierro acompanyado en la solución en un periodo de contacto de 24 horas a 60°C, temperatura promedio en el interior de los pozos de nuestro país.

Del producto seleccionado, Agente LS-24, se presenta la dependencia que muestra la precipitación del hidróxido de hierro vs. la dosis a usar, el pH y el tiempo de tratamiento. Los resultados del estudio cinético son comparados con los de otro agente comercial ensayado.

Para evaluar la efectividad del agente desarrollado fueron empleadas técnicas fotolorimétricas, físico-químicas, volumétricas y técnicas para evaluar al agente frente a la interacción roca-fluido.

El Agente LS-24 muestra su mejor acción a dosis de 1.5%, presentando una efectividad mayor de 97%. Con el desarrollo nacional del Agente LS-24, se logra la sustitución de productos comerciales, los cuales se adquieren por vía de la importación a precios entre 6 y 32 USD/Kg. Por este concepto se disminuye el costo de tratamiento y además se logra la independencia del mercado externo.

### ABSTRACT

The iron compounds, mainly the iron (III) hydroxide that precipitate during the acidification treatments to an oil well, constitute one of the causes more frequent of the reduction in the permeability of the formation. The same one is caused by fine and precipitate materials that are difficultly eliminated in the subsequent acid stimulation treatments, affecting the productivity.

In order of minimizing the precipitation of these compounds that contain iron, are used during the stimulation treatments, stabilizers agents which are indispensable to avoid the damage caused to the formation by this concept and the unavoidable decrease of the productivity of the well.

In the experimental planning a  $2^3$  factorial design has been used and it was readjusted the agent's formulation that showed better effectiveness, which is determined in terms of the iron concentration in the solution in a period of contact of 24 hours at 60°C, temperature average inside the wells of our country.

Of the selected product, Agent LS-24, is showed the dependence of precipitation of the iron hydroxide vs. the dose to use, the pH and the time of treatment.

To evaluate the developed agent's effectiveness they were employed photolorimetrics, physical-chemical, volumetric technical and others to evaluate the agent in front of the interaction rock-fluid.

The agent LS-24 shows its best action to dose of 1.5%, presenting more effectiveness than 97%. With the national agent developed LS-24, the substitution of commercial products is achieved, which are acquired by way of the importation to prices between 6 and 32 USD/Kg. For this concept it diminishes the treatment cost and the independence of the external market is also achieved.

## INTRODUCCION

El daño a la formación debido a la precipitación de hidróxido de hierro (III) es un problema potencial que se presenta durante los tratamientos de acidificación. Antes de la inyección, el ácido puede disolver óxido de hierro de las tuberías y de los tanques de almacenamiento y mezclado, siendo esta la causa principal de la presencia de hierro en el ácido a inyectar (Taylor K.C., 2001; Taylor K.C., 1999a; Coulter A.W., 1984).

El hierro disuelto en el fluido ácido se puede encontrar en los estados de oxidación (II) y (III). El estado (III) ocurre en un ambiente oxidante, de ahí que la presencia de oxígeno en la secuencia de fluidos de tratamientos junto con el origen del hierro disuelto, determine la presencia del mismo en la solución (Taylor K.C., 1999a; Coulter A.W., 1984; Brezinski M.M., 1999; Ríos, E.E., 2001).

A continuación se presenta en la Figura 1 algunas de las reacciones que se efectúan cuando el ácido es gastado por la reacción con la formación (Taylor K.C., 1999b; McLeod, H.O. Jr., 1984)

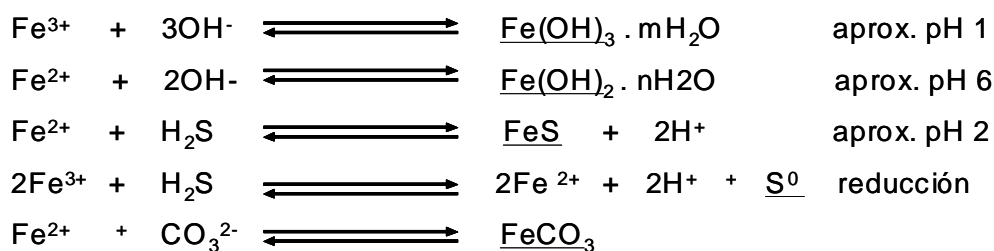


Figura 1. Principales Reacciones del Hierro en Ausencia de Estabilizador.

De la Figura 1 se observa que el hidróxido de hierro (III) precipita cuando el pH aumenta sobre 1. Por su parte, el hierro (II) precipita a valores de pH mayores de 6, lo cual es un problema menos probable en la acidificación. Sin embargo, si el ácido sulfhídrico está presente, el hierro (II) puede precipitar como sulfuro de hierro (II). Además es siempre posible que el hierro (III) pueda ser reducido por el ácido sulfhídrico, ocurriendo entonces la precipitación de azufre elemental. El mismo es muy difícil de remover de la formación, ya que no es soluble en el ácido. El hierro (II) también puede formar carbonato de hierro (II) mientras el ácido se va gastando.

En orden de minimizar la precipitación de compuestos que contienen hierro, son usados durante la estimulación ácida productos químicos estabilizadores. Los agentes estabilizadores actualmente usados están compuestos por una mezcla de agentes independientes capaces de formar un complejo estable con el hierro en solución mientras el ácido se va gastando. (Taylor, K.C., 1999a; Dill, W.R., 1990 UNE: 1984; Darwin, W., 1992)

Para comprender porque los agentes estabilizadores previenen la precipitación de hidróxido de hierro (III), es necesario explicar el comportamiento del ión metálico en solución (Cotton, F. A.,

1980). En solución el hierro (III) forma enlaces con las moléculas de agua o con los iones hidróxilos. El agua o los iones hidróxilos donan electrones al metal estableciendo enlaces denominados puentes. La Figura 2 muestra las reacciones de equilibrio de la precipitación de hierro (III). Es importante recordar que en solución el hierro (III) es generalmente hexacoordinado, esto significa que él forma enlaces de 6 puentes en solución, donde el agua y los grupos hidroxilos no están enlazados fuertemente al hierro. Como los grupos hidroxilos se intercambian con las moléculas de agua, la carga del complejo de hierro disminuye. Como se observa el hidróxido de hierro (III) neutral puede precipitar de la solución.

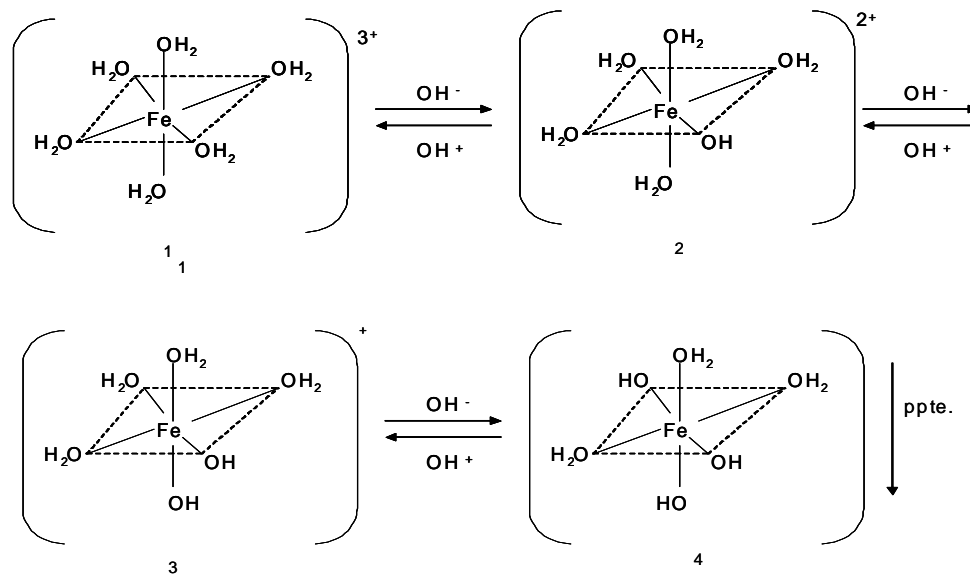


Figura 2. Reacciones de Equilibrio de la Precipitación de Hidróxido de Hierro (III).

Un agente estabilizador actúa para formar múltiples enlaces, efecto quelante, con un ión metálico tal como el hierro (III). El complejo formado entre el agente estabilizador y el hierro (III) es más estable que los enlaces formados entre los iones hidroxilos y el hierro (III). En ese caso, el hidróxido correspondiente no se forma y por tanto no precipita de la solución.

En nuestro país se encuentra difundido el uso del ácido acético como agente estabilizador de hierro (III). La literatura reporta que particularmente el ácido acético, aunque es comúnmente usado, no forma complejos estables con el hierro. Esto es debido a que su acción acomplejante es limitada, lo cual se explica porque el mismo tiene un solo grupo carboxilato, y no puede formar un complejo estable con el hierro (III). Por lo cual el ácido acético no asegura que el hierro se mantenga en solución durante el periodo de las operaciones relativas a la estimulación. Este tiempo límite hace un poco difícil la ejecución de las operaciones, siendo aconsejable el empleo de una composición que garantice mayor estabilidad (Taylor, K.C., 1999a; Taylor, K.C., 1999b).

Ocasionalmente han sido empleados en nuestro país algunos agente estabilizadores de hierro importados. Los mismos están constituidos por mezclas de naturaleza compleja lo cual ha hecho imposible su completa identificación empleando la espectroscopia infrarroja. (Balmayor, M., 2002).



La demanda nacional de este tipo de aditivos se ha satisfecho parcialmente por vía de la importación a través de firmas extranjeras, siendo comercializados a altos precios, entre 3 y 32 USD/Kg, en el mercado internacional.

De ahí que el objetivo de este trabajo sea presentar los resultados obtenidos al evaluar la efectividad del agente LS-24 desarrollado en el Ceinpet, como estabilizador de hierro (III) en el ácido parcial y completamente gastado.

## **MATERIALES**

- Acido acetivo (99.9%)
- Agente LS-24 (84.0%)
- Ácido clorhídrico (37.0%)
- Carbonato de calcio (99.9%)
- Cloruro férrico hexahidratado (99.8%).

## **METODOS**

### **Formulación del Agente LS-24**

En el desarrollo del agente fue empleado un diseño de experimento factorial  $2^3$ , donde el rango de operación de las variables independientes se tomó teniendo en cuenta los reportes encontrados en la literatura y la experiencia adquirida durante el desarrollo del trabajo (Dill, W.R., 1990; Williamson, D., 1992; Gutiérrez, L., 2003).

Aunque en este trabajo es presentado el resultado de la efectividad del formulado frente al hierro (III), por la novedad de la composición y del proceso de obtención no se revelan datos al respecto, considerando su protección bajo patente de invención (Gutiérrez, L., 2004).

### **Estudio Cinético**

Con el fin de conocer el comportamiento estabilizador del agente, medido en términos de la solubilidad del hierro (III) en el ácido parcial y completamente gastado, es realizado un estudio cinético donde se planifican experimentos en función del pH de equilibrio y del tiempo de tratamiento. Los experimentos son presentados a continuación:

- en ausencia de agente estabilizador
- con el agente ácido acético al 2%
- con el agente LS-24 (a las dosis de 1, 1.5 y 2.6%)

### **Metodología de trabajo**

En una solución de ácido clorhídrico al 15 % contaminada con 5000 mg/l de hierro (III), es adicionado el agente estabilizador a la dosis seleccionada. La solución ácida es añadida a un exceso de carbonato de calcio con relación a la cantidad de ácido utilizado, con el fin de que el mismo se agote completamente. El carbonato de calcio es usado para representar las rocas del reservorio. Mientras el ácido se va gastando son tomadas muestra a intervalos regulares de tiempo, a las cuales se le determina el pH y la concentración de hierro (III) en solución. Los experimentos son ejecutados a temperatura de 60°C durante 24 horas, tiempo en que el ácido se considera completamente gastado a la temperatura promedio de los pozos de nuestro país.

Trascurrido el tiempo planificado se filtra el ácido gastado, determinándose el pH, la concentración de hierro, de calcio (UNE, 1984a), de ácido y la densidad (Taylor, K.C., 1999c).

La concentración de hierro en el filtrado es considerada como la cantidad del mismo estabilizada por el agente. En la determinación del hierro es usado el Método Espectrofotométrico con 1-10 fenantrolina considerando un factor de dilución de al menos de 250 a 1, con vistas a eliminar las posibles interferencias (Taylor, K.C., 1999c; UNE, 1984b).

### **Evaluación en la interacción roca-fluido**

Un aspecto importante a considerar es la interacción roca-fluido, para la cual se incluye el agente LS-24 a dosis de 1.5% en la formulación ácido emulsionado. La evaluación fue realizada empleando el Programa de Evaluación de Productos Diseñados en el Ceinpet, mediante los siguientes ensayos (Dubey, S.T., 1991; API RP-42: 1977):

- Determinación de la solubilidad a temperatura ambiente y 60°C
- Determinación de la temperatura de turbidez
- Determinación de la propiedad de filtración
- Ensayo humectabilidad. Método de la Botella
- Ensayo de estabilidad en el ácido emulsionado
- Ensayo de compatibilidad a 60°C en el ácido emulsionado
- Ensayo de reactividad del ácido emulsionado.

En la realización de estos ensayos fueron usadas muestras de petróleo de pozos procedentes de los yacimientos ubicados en la zona de Boca de Jaruco y Varadero, los cuales clasifican como petróleos pesados y extrapesados con alto contenido de asfaltenos y resinas. Igualmente fueron utilizadas muestras de las formaciones con características similares a las de las zonas donde se evaluara la formulación ácida. (Echevarria, F., 2004).

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

El resultado del estudio cinético realizado es mostrado a continuación. Del Gráfico 1, se observa la dependencia de la concentración de hierro (III) en solución contra el pH de equilibrio. El gráfico exhibe las curvas relativas al comportamiento de la solubilidad de hierro en ausencia de estabilizador y en presencia de ácido acético al 2%.

Resulta evidente que para los experimentos realizados en ausencia de estabilizador, la concentración de hierro en solución comienza a disminuir a valores de pH cercanos a 0.5. Esto significa que bajo estas condiciones el hidróxido de hierro (III) comienza a precipitar cuando el pH se incrementa, completándose esencialmente a valores cercanos a 1.5. Estos resultados son similares a los referidos en la literatura, la cual reporta un comportamiento similar al mostrado en el gráfico a temperatura de 65°C (Taylor, K. C., 1999a; Taylor, K.C., 1999b). Además a valores de pH mayores de 4 el ácido está prácticamente neutralizado, ya que la concentración del mismo se encuentra entre 0.73 y 0.9%. Este resultado es corroborado por el alto valor de la concentración de calcio presente en el filtrado, la cual reporta valores entre 96000 y 104000 mg/l.

En paralelo en el Gráfico 1 se observa el comportamiento empleando el acético a dosis del 2%. Como se observa este ácido es capaz de acomplejar más de la mitad del hierro inicial a un pH cercano a 1, a partir de este valor el hierro (III) cae bruscamente desde la solución hasta que a valores de pH cercanos a 4.5 no se reporta presencia del mismo en la solución.

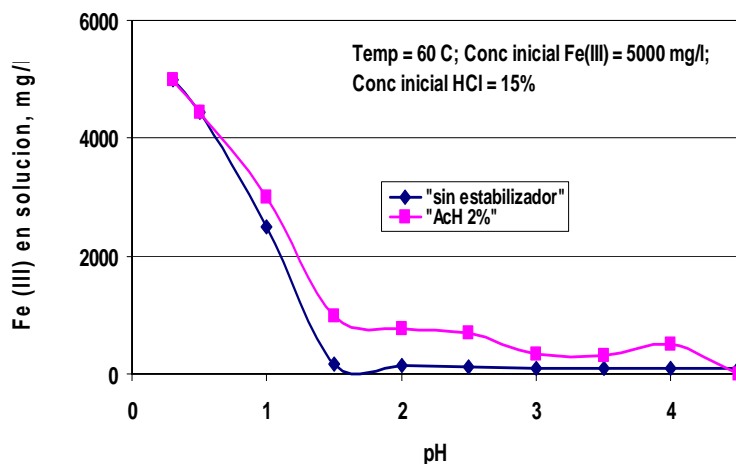


Gráfico 1. Efecto del Ácido Acético en la Solubilidad de Hierro (III).

A continuación en el Gráfico 2 se muestra el comportamiento del ácido acético en correspondencia al tiempo de tratamiento. El gráfico ilustra como la cantidad de hierro (III) en solución disminuye con el tiempo. Antes de las dos horas de tratamiento, prácticamente el hierro (III) se encuentra precipitado en forma de hidróxido, lo cual demuestra su ineficiente efecto. Esto es debido a que el ión acetato forma un puente débil con el hierro (III), no pudiendo evitar la formación del hidróxido. Debe señalarse que este tiempo límite dificulta la ejecución de las operaciones, siendo aconsejable el empleo de una composición que garantice mayor tiempo de estabilidad (Taylor, K.C., 1999a; Taylor, K.C., 1999b).

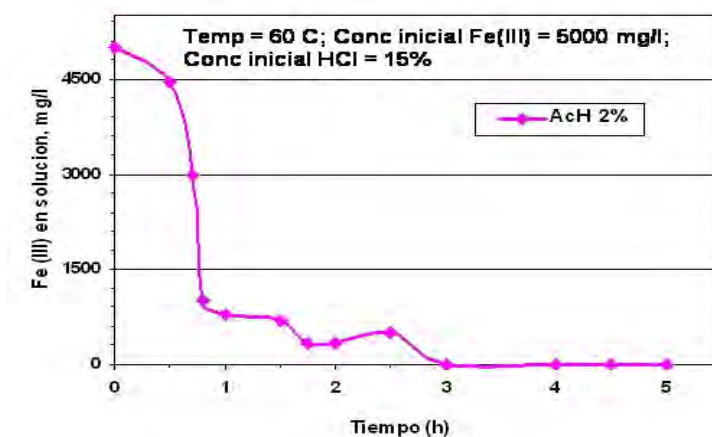


Gráfico 2. Efecto del Tiempo de Tratamiento en la Solubilidad de Hierro (III), Ácido Acético

El resultado de la acción del agente estabilizador LS-24 es mostrado a continuación, el estudio fue realizado empleando dosis del agente de 1, 1.5 y 2.6%.

El efecto del tiempo de tratamiento es mostrado en el Gráfico 3. Del mismo se evidencia que al aumentar el tiempo disminuye la solubilidad del hierro (III) aplicado a las dosis de 1 y 2.6%. Particularmente a dosis de 2.6% se observa que a las 3 horas todo el hierro se encuentra en solución y que a partir de este tiempo comienza a precipitar lentamente el mismo hasta que después de 6 horas, la concentración de hierro (III) comienza a caer progresivamente. Es

notable que a las 24 horas, cuando el ácido esta completamente gastado, queda en solución prácticamente menos de la mitad del hierro inicial. En este caso se forman dos precipitados uno gelatinoso reconocido como hidróxido de hierro (III) y otro de color amarillo-mostaza. Este último identificado en la literatura como un compuesto Fe-Ca-agente estabilizador, indicativo de un exceso del agente.

Del gráfico se observa una menor acción del agente a la dosis de 1%, ya que la precipitación de hierro ocurre más rápidamente. A las 3 horas solo se observa una concentración de hierro en solución algo menor de 2725 mg/l. A partir de estos resultados se hace evidente que la acción del agente a esta dosis es inefectiva.

El mejor comportamiento fue observado a la dosis de 1.5%. El Gráfico 3 muestra que en las primeras 3 horas la concentración inicial de hierro en solución se mantiene esencialmente en los valores iniciales, 5000mg/l. A partir de este tiempo se observa una ligera disminución de la concentración hasta 4875 mg/l. Esta concentración se mantiene en equilibrio hasta el tiempo total planificado para el experimento (24 horas), reportándose en este caso un 97.5% de efectividad. Ello es índice de la formación de un complejo estable entre el agente LS-24 y en el hierro (III), ya que prácticamente no hay formación del hidróxido correspondiente, evidenciándose el efecto quelante del agente sobre el ión hierro (III). Los resultados obtenidos reflejan que la dosis del agente a usar no debe estar ni por arriba ni por debajo de su nivel crítico, lo cual es corroborado por la literatura (Taylor K.C., 1999a).

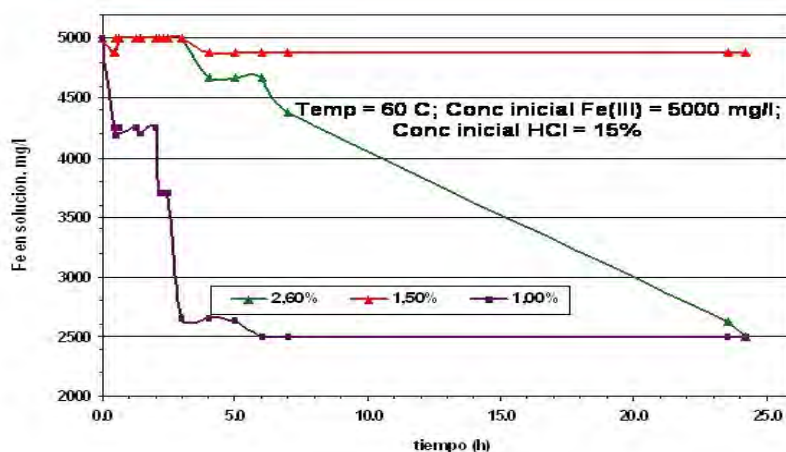


Gráfico 3. Efecto del Tiempo de Tratamiento en la Solubilidad de Hierro (III), LS-24

Adicionalmente en el Gráfico 4 se presenta el comportamiento del hierro (III) en solución en función del pH en equilibrio. Como se observa el efecto quelante del agente LS-24 sobre el hierro (III) se efectúa a valores de pH cercanos a 0.3 y 2. En este rango de pH se estabiliza la concentración de hierro (III) en solución entre 4875 y 5000 mg/l, en el ácido parcial y totalmente gastado. El agente minimiza el efecto de precipitación, ya que es capaz de acomplejar hasta un 97.5% del hierro presente en un rango de pH donde el hidróxido de hierro (III) es formado en ausencia de un agente estabilizador efectivo.

Para complementar el estudio de la evaluación del agente estabilizador LS-24, se realizaron experimentos relativos a la solubilidad del hierro (III) en solución para un tiempo de tratamiento de 48 horas. Para ello fueron tomadas muestras y analizadas al transcurrir el tiempo señalado. En la Tabla I aparecen los resultados.

Como se observa de la tabla I, la concentración de hierro (III) en solución a las 48 horas supera el valor reportado a las 24 horas, lo cual indica que la reacción de acomplejamiento aún no se había completado y que pasado ese tiempo fue capaz de captar más hierro.

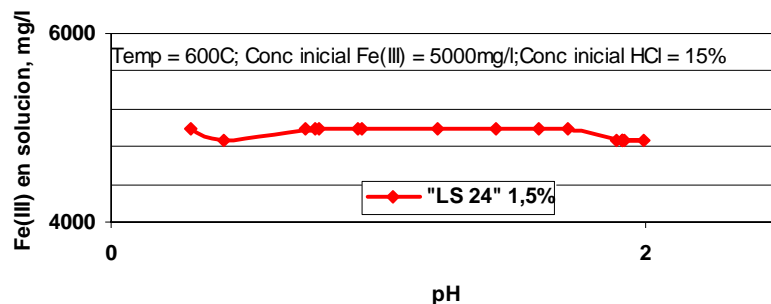


Gráfico 4. Efecto del Agente LS-24 en la Solubilidad de Hierro (III).

Tabla I. Fe (III) en Solución Estabilizado por el Agente LS-24.

Hierro Fe (III) estabilizado 48 h (60°C)	
mg/l	pH
5000	2.2

A continuación se presentan los resultados alcanzados en la evaluación del agente LS-24 en la formulación ácida frente a la interacción roca–fluido a dosis de 1.5%, realizado mediante el Programa que ejecuta el CEINPET.

En cuanto al estudio de la solubilidad realizado al agente frente a solventes comúnmente usados en los tratamientos de estimulación ácida, en la Tabla II se muestran los resultados.

Tabla II. Solubilidad del Agente LS-24

Agente LS-24	Solubilidad a Temperatura ambiente y a 60°C			
	Agua dulce	Agua salina	LCO	Xileno
	Soluble	Soluble	Poco soluble	Poco soluble

Se evidencia de la Tabla que el agente es soluble en agua dulce y salina, lo que indica que en estos solventes preferiblemente es donde debe ser disuelto en el momento de la preparación del fluido para estimular. Los resultados de la solubilidad fueron similares a temperatura ambiente y a 60°C.

Seguidamente, con la finalidad de conocer la degradación que pueda sufrir el producto por efecto de la temperatura, en la Tabla III se presentan los resultados de la determinación de temperatura de turbidez.

Como se observa los valores de la temperatura de turbidez reportada para el agente en cada uno de los solventes ensayados es mayor de 90°C, lo que indica que a 60°C temperatura promedio de los pozos de nuestro país, el agente no experimenta variación en su composición química.

Tabla III. Temperatura de Turbidez del Agente LS-24

	Temperatura de Turbidez (°C)		
	Agua dulce	Agua salina	Xileno
<b>Agente LS-24</b>	>90	>90	>90

En la Tabla IV se presentan los resultados relativos a la determinación de la propiedad de filtración del agente. La propiedad de filtración de un producto indica la capacidad que tiene el mismo de pasar a través del medio poroso a la concentración de trabajo.

Tabla IV. Propiedad de Filtración

	FS	FSR	PF
<b>Agente LS-24</b>	0.89	0.90	0.98

PF =1 (Buena); PF =1-2 (Satisfactoria); PF>2 (Mala)

Los valores del Factor Skrim (FS) y del Factor Skrim Residual (FSR) presentados en la Tabla IV muestran valores similares, lo que indica que el agente al pasar por el medio poroso no produce daño. Por otra parte el valor de la Propiedad de Filtración (PF) alcanzado corrobora los resultados anteriores, ya que el valor menor que 1 en este índice, refleja los buenos resultados del agente en relación a este índice.

Tabla V. Humectabilidad. Método de la Botella

Condición de trabajo		Humectabilidad
1 <sup>era</sup>	Arena de Cuarzo con BJ 226 para evaluar el yacimiento Boca de Jaruco	Oleohumectante
2 <sup>da</sup>	Arena de Cuarzo con V 555 para evaluar el yacimiento varadero.	Oleohumectante

Bajo las condiciones de ensayo se observa el carácter oleohumectante que presenta el agente en ambas condiciones, utilizando el petróleo BJ 226 y V 555 y arena de cuarzo. La arena de cuarzo es considerada un patrón, es usada cuando el producto a evaluar reacciona con la caliza, lo cual no permite realizar la determinación con exactitud.



Para complementar el estudio del comportamiento del producto LS-24 en la interacción roca-fluido a dosis de 1.5%, es realizado el ensayo de la estabilidad y el ensayo de la compatibilidad a 60°C. Para ello se diseñó una formulación ácido emulsionado, la cual está compuesta por una mezcla de ácido clorhídrico, el agente estabilizador LS-24 y otros aditivos utilizados para estos fines. En la Figura 3 se presenta la composición de la misma.

HCl (15%); Inhibidor (0.5%); LS-24(1.5%); Emulgente (0.32%); Rompedor (1%); LCO.

Figura 2. Formulación 1

En la tabla VI se presentan los resultados del ensayo de estabilidad a temperatura ambiente alcanzado en la Formulación 1.

Tabla VI. Ensayo de Estabilidad

<b>Tiempo (min.)</b>	<b>Fase Separada (%)</b>
0	0
60	17
120	33
180	42
240	50
300	58

Se observa un buen comportamiento de la estabilidad de la formulación, ya que se logra un valor de separación fase de 17% a los 60 minutos. Se debe destacar que una vez separada la formulación es regenerada con facilidad.

A continuación en la Tabla VII se muestran los resultados alcanzados en el ensayo de compatibilidad. Este ensayo permite conocer la estabilidad de la emulsión después de haber reaccionado con la caliza a 60°C en presencia de petróleo.

Tabla VII Resultados del Ensayo de Compatibilidad a 60°C.

<b>Tiempo (min)</b>	<b>% de Separación de fase acuosa obtenida</b>		
	<b>Varadero 2</b>	<b>Varadero 681</b>	<b>Boca de Jaruco 800</b>
0	0	0	0
10	54	55	71
30	91	94	86
40	100	94	100
60	100	94	100

Como se observa los valores de separación de fase acuosa obtenida son considerados buenos, ya que para un periodo de 30 minutos más del 85% de la fase acuosa esta separada. Como se evidencia a la hora de haber sido comenzado el experimento ya toda la fase acuosa que estaba emulsionada con los petróleos Varadero 2 y Boca de Jaruco 800 esta recuperada y para el Varadero 681 se observa un 94% en este mismo tiempo. Esto asegura que no se producirá una emulsión estable entre el ácido gastado derivado de la reacción de la roca con la Formulación 1y en presencia de petróleo.

Con el fin de evaluar la reactividad de la Formulación 1, en la Tabla VIII se presentan los resultados relativos a la caracterización de la misma antes (ácido vivo) y después (ácido gastado) de haber reaccionado con la roca en presencia del petróleo Boca de Jaruco 800.

Se evidencia un aumento significativo de la concentración de calcio, magnesio y hierro en el ácido gastado, como consecuencia de la reacción entre la Formulación 1 y la roca caliza. Con relación al pH se reporta un valor de 0.8 en el ácido gastado. Esto corrobora los resultados presentados en el Grafico 4, donde se muestra que el efecto quelante del agente LS-24 sobre el hierro (III) es realizado en un rango de pH entre 0.3 y 2, no presentándose evidencia de algún precipitado en el ácido esencialmente gastado.

Tabla VII Resultados del Ensayo de Reactividad.

Índice	Fluido sin reaccionar	Fluido después de reaccionar
pH	-	0.8
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	1.074	-
Acidez, %	16.6	0.92
Calcio, mg/l	0	64000
Magnesio, mg/l	0	1216
Hierro, mg/l	0	860

## CONCLUSIONES

1. El estudio cinético realizado al agente estabilizador de hierro LS-24 desarrollado en el CEINPET mostró, que a dosis de 1.5% es capaz de mantener en el ácido gastado el 97% del hierro (III) en solución a una temperatura de 60°C para un tiempo de tratamiento de 24 horas, manteniendo el pH entre 0.3 y 2. La efectividad mostrada para un período de tratamiento de 48 horas alcanza valores del 100% a la temperatura de trabajo y con un pH cercano a 2.
2. Así mismo de los resultados obtenidos mediante este estudio se corrobora que el ácido acético a dosis del 2% es ineficaz, ya que no es capaz de mantener cantidades significativas de hierro por más de 1 hora.
3. Mediante el Programa de Evaluación de Productos Diseñados en el Ceinpet se corrobora la efectividad del agente LS-24 a dosis de 1.5% a valores de pH menores de 2, evitándose la formación de hidróxido de hierro (III) y el consecuente daño a la formación. Paralelamente los resultados de los ensayos de estabilidad y de compatibilidad realizados demuestran, que el agente posee buenas propiedades para ser utilizado en trabajos de tratamientos de estimulación ácida a pozos de petróleo.

## BIBLIOGRAFIA

- API RP-42, 1977. Surface Active for Well Stimulation.
- Balmayor, M., 2002. Informe sobre Resultados de Análisis 1-115-02. (Cuba): 5p.
- Brezinski, M.M., 2000. Iron-Control problems and Solutions, *Stimulation Technology Review*, 33-39.
- Ríos, E.E., 2001. Daños a la Formación y Estimulación de Pozos. Edición 1.0. Venezuela: PDVSA-CIED, 300p.
- Cotton, F.A., 1980. Advanced Inorganic Chemistry. Fourth edition, Wiley. New York: 758p.
- Coulter A. W., 1984. Field test indicates tubing is main source of iron precipitation in the wellbore. *Oil & Gas Journal*, Sept., 87-88.
- Crowe, C. W., 1985. Evaluation of Agents for Preventing Precipitation of Ferric from Spent Treating Acid. *JKPT*, April, 691-695.
- Dubey, S.T., 1991. Base Number and Wetting Properties of Crude oils. SPE 22598.
- Echevarria, F., 2004. Informe del Proyecto 1302. Etapa 6. (Cuba): Ceinpet, Septiembre, 20 p.
- Gutiérrez L., 2003. Informe del Proyecto 1302. Desarrollo de Aditivos Químicos para la Estimulación de Reservorios de Petróleo y Gas. Etapa 3. Obtención y/o Formulación de Sistemas Secuestrantes o Estabilizadores. Sub-Etapa 3.1. Selección de Materias Primas y Pruebas Preliminares. Informe Parcial. (Cuba): Ceinpet, Marzo, 8p.
- Gutiérrez L., 2004. Informe del Proyecto 1302. Desarrollo de Aditivos Químicos para la Estimulación de Reservorios de Petróleo y Gas. Etapa 3. Obtención y/o formulación de sistemas secuestrantes o estabilizadores. Sub-Etapa 3.2. Informe Final. (Cuba): Ceinpet, Marzo, 6 p.
- Dill, W.R., Compositions and method for controlling precipitation when acidizing sour wells. United States Patent 4,888,121, 8p
- McLeod, H.O., 1984. Matrix Acidizing. *J. Pet. Technol*, 36(12), 2055-2065p.
- Taylor K.C., 1999a. A Systematic Study of Iron Control Chemicals. Part-2. *SPE 50772*, 6p.
- Taylor K.C., 1999b. Systematic Study of Iron Control Chemicals Used During Well Stimulation. *SPE Journal*, 4 (1), 7p.
- Taylor K.C., 1999c. Field test Measures Amount and Type of Iron in Spent Acids. *SPE 50780*, 10p.
- Taylor K.C., 2001. Laboratory Evaluation of Iron-Control Chemicals for High-Temperature Sour-Gas Wells. *SPE 65010*, 12p.
- UNE 77-040, 1983a Método general de determinación de calcio.
- UNE 55-709, 1984b Método general de determinación de hierro. Método espectrofotométrico con 1,10-fenantrolina.



## PROYECTO DE DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DEL YACIMIENTO MARBELLA

**Autor:** David Tavares Noa<sup>(1)</sup>, Nancy Córdova Oliveros<sup>(2)</sup>, Juan Cristóbal Hernández<sup>(3)</sup>, Norma Mitchel López<sup>(4)</sup>

(1) *Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: [dtavarez@epepvar.minbas.cu](mailto:dtavarez@epepvar.minbas.cu)*

(2) *Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: [ncordova@epepvar.minbas.cu](mailto:ncordova@epepvar.minbas.cu)*

(3) *Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: [jcristobal@epepvar.minbas.cu](mailto:jcristobal@epepvar.minbas.cu)*

(4) *Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: [nmitchel@epepvar.minbas.cu](mailto:nmitchel@epepvar.minbas.cu)*

### RESUMEN

Una de las herramientas mas utilizadas en la actualidad para estudiar y evaluar los yacimientos de petróleo y gas, son los Proyectos de Desarrollo y Optimización (PDO) de los campos, los cuales entre otros, tienen como objetivos; aclarar la estructura geológica, dividir el corte en objetivos y en áreas de explotación, analizar los resultados de la explotación de prueba, argumentar los parámetros de cálculo, evaluar la eficiencia económica de las variantes de explotación examinadas y recomendar la variante de explotación más efectiva, así como argumentar los tipos y procedimientos de perforación y recomendar las estructuras de los pozos y el orden a perforar en los yacimientos.

Este trabajo explica y detalla los modelos que fueron confeccionados para llevar a cabo el estudio del Yacimiento Marbella con lo que se pudo esclarecer la geología del área, el comportamiento productivo del yacimiento y la posibilidad de realizar la perforación de pozos con categoría de reentry para lograr aumento de la producción.

### ABSTRACT

One of the tools but used at the present time to study and to evaluate the locations of petroleum and gas, they are the Projects of Development and Optimization (PDO) of the fields, those which among other, they have as objectives; to clarify the geologic structure, to divide the cut in objectives and in areas of exploitation, to analyze the results of the test exploitation, to argue the calculation parameters, to evaluate the economic efficiency of the examined variants of exploitation and to recommend the variant of more effective exploitation, as well as to argue the types and perforation procedures and to recommend the structures of the wells and the order to perforate in the locations.

This work explains and it details the models that were made to carry out the study of the Location Marbella with what you could clarify the geology of the area, the productive behavior of the location and the possibility of carrying out the perforation of wells with reentry category to achieve increase of the production.



## INTRODUCCION

El Yacimiento Marbella, se encuentra ubicado al norte de la provincia de Matanzas, localizado en un alineamiento de elevados de Placetas en un alto estructural orientado NW-SE al norte del Yacimiento Varadero y que se prolongan hasta la Bahía de Cárdenas. El yacimiento fue descubierto durante el ensayo del pozo MB-23 en el año 1975 en los depósitos carbonatados del Cretácico Inferior a través de la entrada de agua petróleo de 11° API. El yacimiento está constituido por diferentes pliegues denominados Sur, Marbella, Mar Azul y Marbella-X.

El Yacimiento Marbella, no fue ni estudiado ni explotado sistemáticamente hasta su segunda etapa de desarrollo en el año 2001, en que fue considerado como un nuevo campo, es a partir de entonces que se inicia un proceso de evaluación y preparación para su desarrollo óptimo.

Dadas las particularidades del campo:

- Marbella puede considerarse como un campo “satélite” del yacimiento Varadero, tanto por su ubicación como sus características geológico físicas
- Las dimensiones del campo, determinaron que en gran medida fuera perforado, a una mayor densificación.
- Su ubicación geográfica determina que pueda ser manejado con las instalaciones del Yacimiento Varadero

Considerando las particularidades anteriores, y a pesar de la corta historia de explotación se decidió proceder a la elaboración del Programa de Desarrollo y Optimización (PDO) de este campo

## MATERIALES Y METODOS

Se confeccionó el PDO del Yacimiento Marbella, para establecer:

- Los volúmenes de reservas iniciales de petróleo y gas
- Las bases para la explotación óptima del campo,
- Principales estrategias de optimización de la explotación del campo

## RESULTADOS

Del estudio realizado se pudo esclarecer:

- La geología del área.
- El comportamiento productivo del yacimiento
- La posibilidad de realizar la perforación de pozos con categoría de reentry para lograr aumento de la producción.

## DISCUSIÓN

Una de las herramientas mas utilizadas en la actualidad para estudiar y evaluar los yacimientos, son los Proyectos de Desarrollo y Optimización de los campos, los cuales entre otros, tienen como objetivos:

- Aclarar la estructura geológica que influye en la selección del sistema
- Dividir el corte en objetivos y en áreas de explotación
- Analizar los resultados de la explotación de prueba a escala industrial del yacimiento de petróleo
- Argumentar los parámetros de calculo y las condiciones de cálculos tecnológicos
- Efectuar las adaptaciones necesarias de las simulaciones matemáticas, sobre la base de las cuales se determina los niveles de producción para las variantes de explotación del yacimiento elegidas

- Evaluar la eficiencia económica de las variantes de explotación examinadas, determinar las inversiones de fondos, costos, el efecto en la economía nacional y las ganancias a corto y largo plazo.
- Recomendar la variante de explotación más efectiva, así como, argumentar los tipos y procedimientos de perforación y recomendar las estructuras de los pozos y el orden a perforar en los yacimientos.

El PDO del yacimiento Marbella se basó en varios modelos:

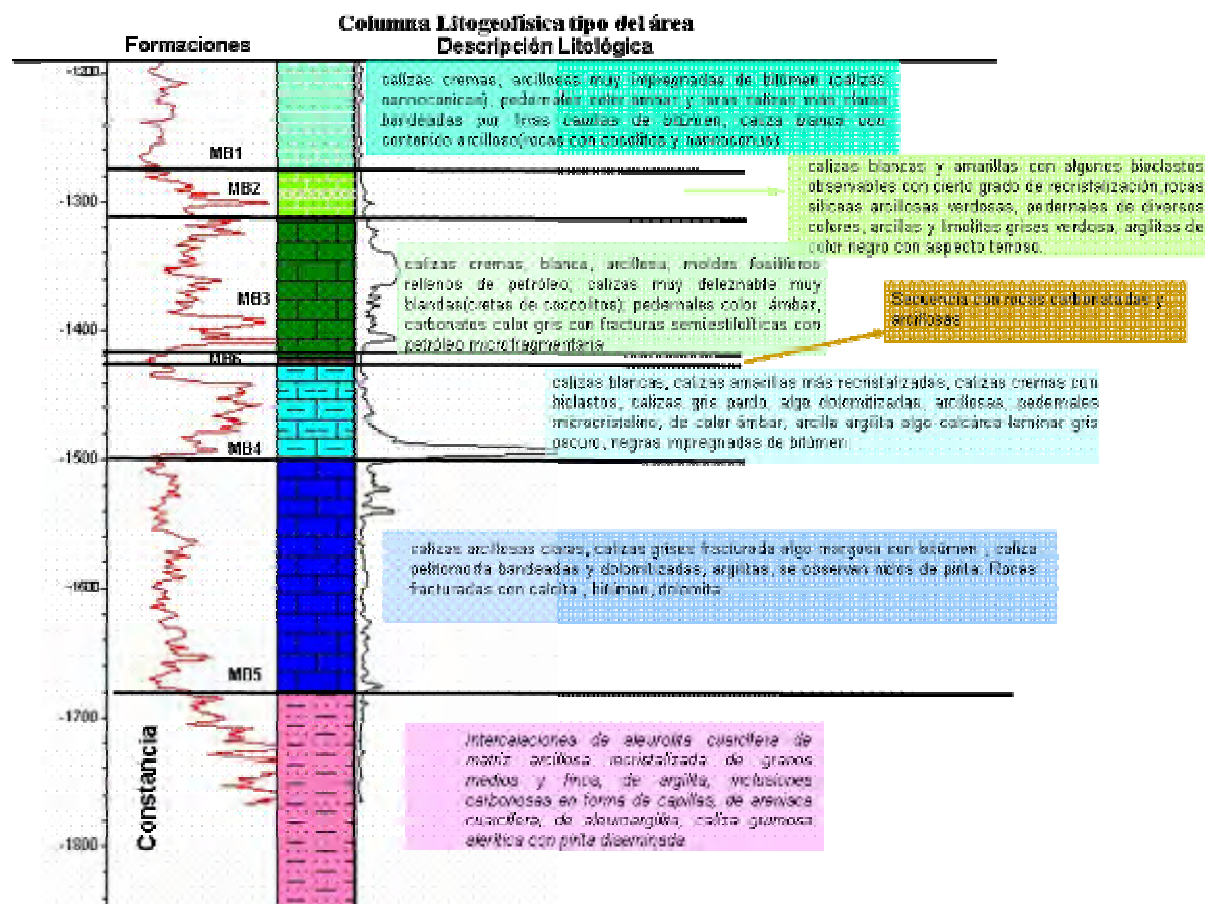
- Un modelo estructural donde se determinó la orientación y geometría de los elementos estructurales y la delimitación areal del yacimiento.
- Un modelo estratigráfico donde se determinó la estructura interna del yacimiento. Correlaciona y define unidades de flujo y mapas de distribución de capas.
- Un modelo sedimentológico donde se determinó la geometría, distribución y calidad de los depósitos de las Unidades de Flujo, los límites y/o barreras verticales.
- Un modelo petrofísico donde se determinaron los parámetros básicos : K, Ø, Vsh, Sw. Parámetros de corte.
- Un modelo de fluido donde se determinaron las propiedades de fluidos y distribución inicial en el yacimiento.

### Caracterización de las secuencias de rocas presentes en el corte de los pozos del área.

Para este estudio se tomaron como base las informaciones aportadas por el análisis de núcleos cortados, las descripciones de ditches y cuttings, el análisis de los registros geofísicos y los registros de imágenes.

#### Anexo 1

#### COLUMNA LITOGEOFISICA TIPO DEL ÁREA



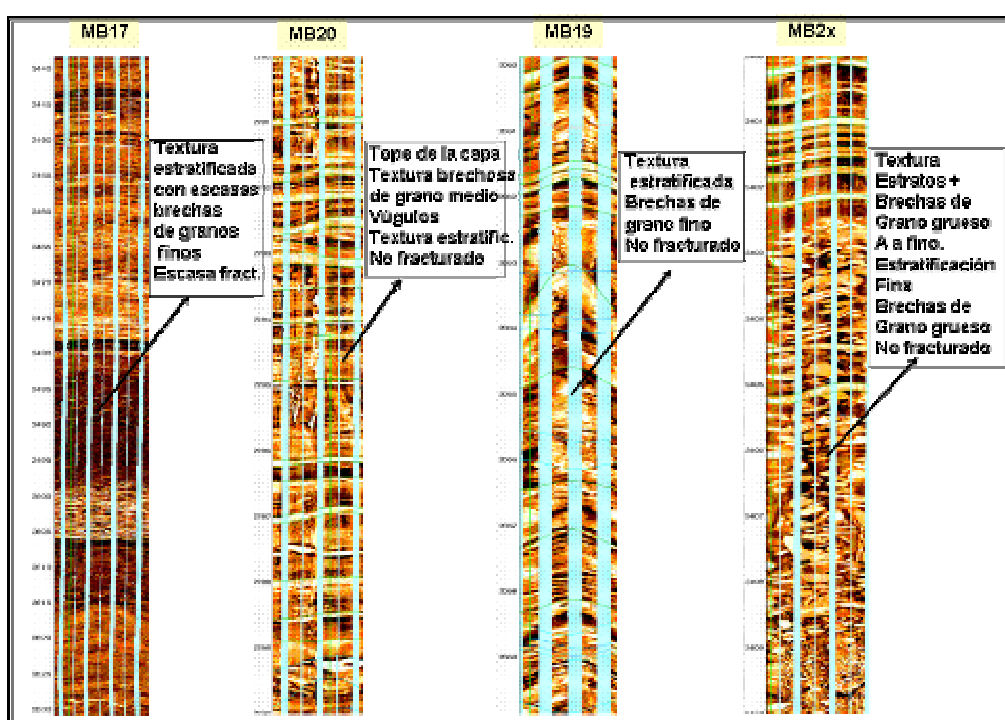


## Caracterización Petrofísica de los horizontes.

Basándonos en el análisis lito-petrográfico de las descripciones de núcleos, y de los Cuttings, se pudo comprobar que el mismo por si solo no constituye un elemento de base para Diferenciar cada uno de los horizontes presentes en el corte de los pozos ya que los mismos presentan características litológicas similares, resultado semejante se obtuvo del análisis de los registros de imágenes donde no se pudo identificar con claridad la textura de cada uno de los horizontes ya que en ocasiones un mismo horizonte se presenta como una zona brechosa y otras veces como zona estratificada (Caracterización cualitativa de las imágenes).

### Anexo 2.

#### CARACTERIZACION CUALITATIVA DE LOS HORIZONTES MB-2 EN BASE A LOS REGISTROS DE IMAGENES



## Geología estructural

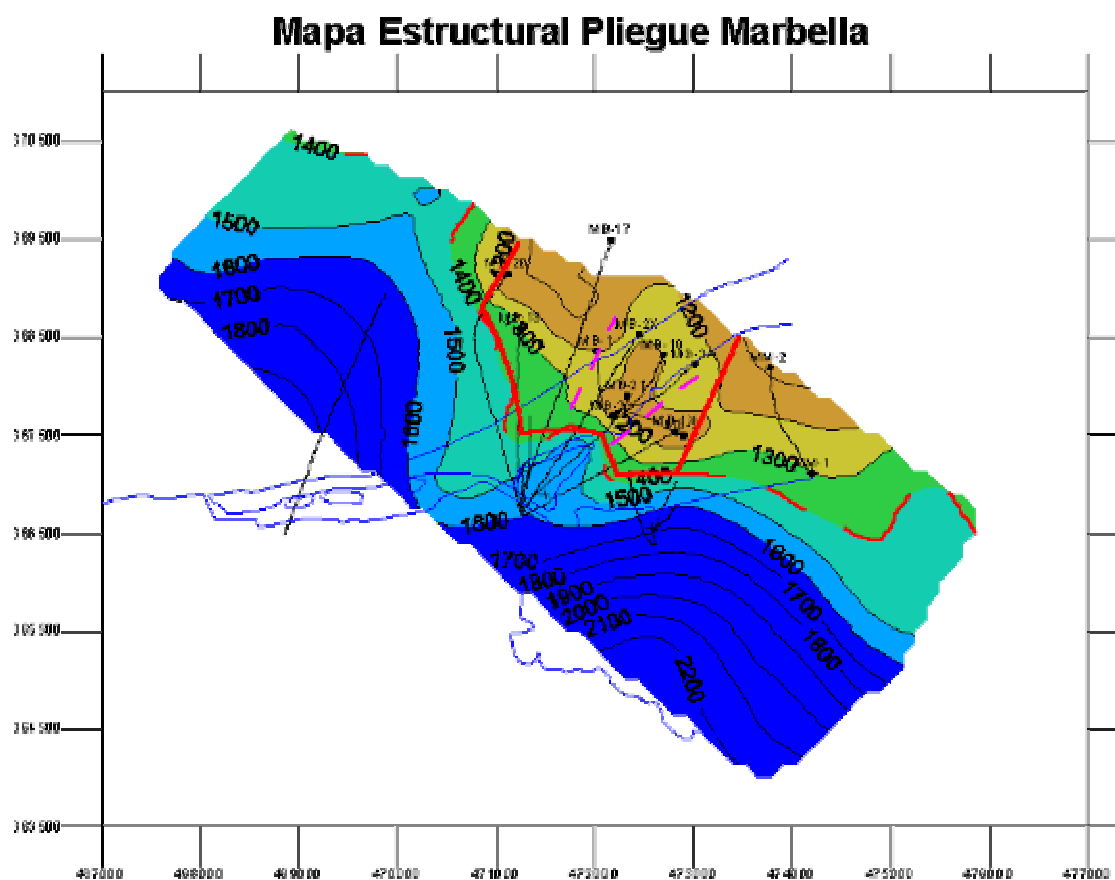
El modelo estructural del yacimiento se realizó en base a la información geológica arrojada por los perfiles construidos a partir de las correlaciones lito-geofísicas de detalle de los pozos. Debido a la distribución de los pozos solamente fueron posibles elaborar perfiles transversales a través de los mismos pozos tomando en consideración el modelo estructural de detalle de cada uno a través de la integración de la información de los registros de echados en la interpretación geológica de los perfiles.

Básicamente el modelo estructural del yacimiento , fue elaborado en 3D , lo cual permitió conformar espacialmente la ubicación y superficies de las fallas principales del campo . A partir de los datos de pozos , los perfiles digitalizados así como informaciones puntuales de las líneas sísmicas sobre el campo fueron construidas en 3D las fallas principales del campo :

- Falla Límite Varadero – Marbella - Mapeada fundamentalmente por los pozos del yacimiento Varadero
- Falla Limite MB-Sur –MB Principal F-L1 Esta falla tiene una extensión limitada, conformando el pliegue sur con extensión reducida con respecto al resto de los pliegues de MB y Varadero

- Falla límite MB-Principal / Pliegue Mar-Azul - Mapeada fundamentalmente por los pozos del yacimiento Marbella

### Anexo 3



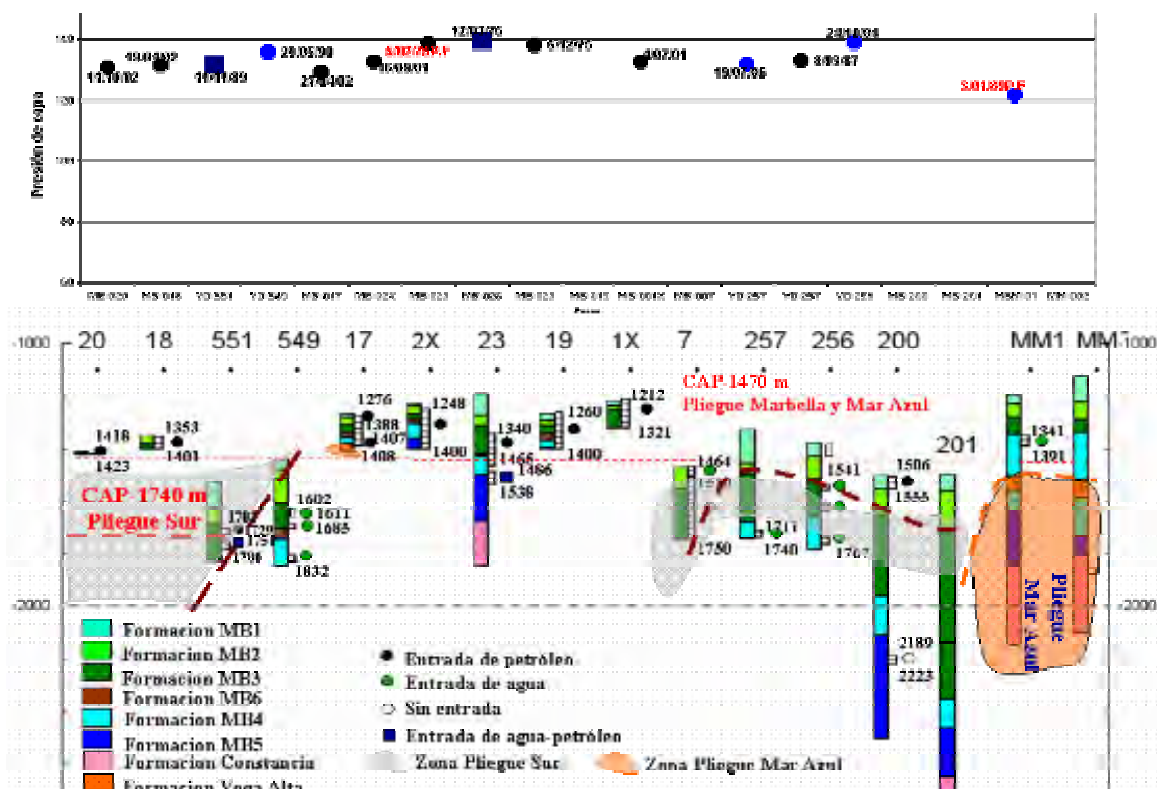
Debido al grado de complejidad estructural que presenta el área de estudio, se hizo necesario el establecimiento de ubicación inicial de los posibles CAP existentes. Para este análisis nos basamos en la información arrojada por los resultados de los ensayos realizados.

Datos básicos para el establecimiento de las zonas de CAP inicial.

Sectores Geológicos	Profundidad CAP inicial	Pozos claves
Pliegue Marbella-Mar Azul	1470m	MB-23
Pliegue Sur	1740m	MB-551

## Anexo 4

### CORRELACION DE ENSAYO-PRESION CAPA REDUCIDA – NIVEL REFERENCIA @ 1300 m



## CONCLUSIONES

- Se identificaron tres Pliegues en el yacimiento Marbella: Pliegue Marbella Principal, Pliegue Mar Azul, Pliegue Sur, constituyendo como objetivo productivo el pliegue Marbella principal.
- Se identificó el tipo de agua presente en cada uno de los pliegues: Hidrocarbonatada sódica, lográndose caracterizar la misma.
- Según los gráficos realizados no existen diferencias marcadas entre los crudos extraídos de cada pozo, y específicamente el de Marbella, es semejante al de Varadero caracterizado por altos contenidos de sulfídrico (6-7%).
- La presión de capa inicial del yacimiento está dada por el pozo Marbella-023 que alcanzó un valor de 147 atm / 1300 metros TVD.
- De acuerdo al análisis de la dependencia  $P_c$  vs  $H$  metros, fue identificada la línea de gradiente correspondiente al sector de los pozos ensayados en las Unidades Marbella Mar Azul y Marbella Sur, con un grado  $VP / VH = 10.7$  atm / 100 metros.
- La temperatura al tope (1240 metros) de la capa productiva es de 54.3 °C, mientras que al CAP (1470 metros) resultó igual a 59 °C.
- La presión de capa inicial correspondiente a Pliegue Sur es de 172 atm/1730 metros.
- La energía disponible en esta acumulación es el gas comprimido y disuelto.
- El análisis de la RGP, muestra una tendencia al incremento de la misma, en la medida en que se extrae petróleo del yacimiento.
- Del estudio realizado, se concluyó, la posibilidad de perforación de un pozo (re-entry, con producciones superiores a los 50 m<sup>3</sup>/d.



## BIBLIOGRAFIA

1. Expedientes de Pozos de Marbella. Documentos de Archivo Técnico EPEP. Centro
2. Registros geofísicos de Marbella. Documentos de Archivo Técnico EPEP. Centro
3. Informes técnicos Yacimiento Marbella. Documentos de Archivo Técnico EPEP. Centro
4. Programas de Petrel 3D. Departamento Ingeniería Yacimiento EPEP. Centro
5. Programa Rockware 99. Departamento Ingeniería Yacimiento EPEP. Centro
6. Sistema Base de Datos. Departamento Ingeniería Yacimiento EPEP. Centro
7. Procesamiento e Interpretación FMI. Departamento Ingeniería Yacimiento EPEP. Centro



## ESTIMACIÓN DE LA POROSIDAD DE FRACTURA EN EL POZO YUMURI 201

Ing. Odalys Reyes Paredes

*Centro de Investigaciones del Petróleo*

La evaluación de un reservorio carbonatado con predominio de porosidad secundaria cada día es más importante en el mercado petrolero. El estudio se realiza en el pozo Yumuri 201 ubicado en el yacimiento del mismo nombre.

Históricamente se han usado los registros de pozo para proveer información cualitativa y cuantitativa del reservorio, sin embargo se ha publicado muy poco acerca de la evaluación cuantitativa de la porosidad de fractura.

En el caso de estudio que nos ocupa, contamos con un complejo de registros geofísicos de alta calidad incluyendo un registro de imágenes (FMI), además contamos con los registros del pozo Cupey 2x-re, quien cuanta con los resultados de la interpretación de la porosidad de fractura a partir del FMI.

Se proponen en principio tres modelos de interpretación de dicho parámetro:

Modelo 1: Un modelo que asume que la matriz y la fractura están conectadas en paralelo, basado en lo cual el doble laterolog es una herramienta ideal para evaluar la porosidad de fracturas verticales y sub verticales. El modelo teórico planteado esta formado por cubos con espacios vacíos entre ellos. Los cubos representan la matriz y los espacios las fracturas. De este modo la porosidad es definida como el radio del espacio vacío en el volumen total de roca.

Modelo 2: Se establecen dependencias entre la porosidad determinada a partir de la combinación neutrón – densidad ( $\phi_{ND}$ ) y la porosidad determinada a partir del sónico ( $\phi_s$ ). En este caso fue necesario primeramente calibrar la  $\phi_s$  en aquellos intervalos no fracturados para lo que es imprescindible el apoyo en los registros de imágenes.

Modelo 3: Se usan los gráficos de abanico, con el objetivo de definir el tipo de reservorio y de esta forma calcular la porosidad secundaria.

Posteriormente son comparados los valores de porosidad determinados en los tres modelos con la porosidad de fractura calculada a partir de los registros de imágenes en el pozo Cupey –2x y de este modo definido un modelo para el cálculo de porosidad de fractura en el campo Yumuri.

### Abstrac

The evaluation of a carbonate reservoir with prevalence of secondary porosity every day is more important in the oil market. The study is carried out in the well Yumuri 201 located in the Yumuri field.

Historically have been used the well registrations to provide qualitative and quantitative information of the reservoir, however has been published little about the quantitative evaluation of the fracture porosity.

In our case of study, we have a complex of geophysical log with high quality including images log(FMI), we also have the Cupey 2x-re well log. It have the results of the fracture porosity interpretation from the IMF.



We are proposed three models of parameter interpretation.

Model 1: A model that assumes matrix and fracture connected in parallel, based on that dual laterolog is an ideal tool to evaluate the porosity of vertical and sub vertical fractures and. The theoretical pattern are formed by cubes with empty spaces among them. The cubes represent the matrix and the spaces the fractures. The porosity is defined as the radius of the empty space in the total volume of rock.

Model 2: Are make Dependences between the certain porosity from the neutron - density combination, and the certain porosity from the sonic log. In this case was necessary firstly to gauge the sonic porosity in those intervals not fractured have do indispensable the support in the images log.

Model 3: The fan graphics are used, with the objective of defining the reservoir type and calculate the secondary porosity.

Later are compared the porosity values in the three models with the fracture porosity calculated from the images log in the Cupey2x-re well and defined a model for the calculate of fracture porosity in the Yumuri field.





## PROPUESTA DE LOS TRABAJOS DE EXPLORACIÓN A REALIZAR EN EL BLOQUE 7 ONSHORE.

**José Álvarez Castro(1), Julio Gómez Herrera(1), Lourdes Miranda Góngora(1), Y. Pérez Martínez(1) y Raúl Rodríguez Menduiña(1)**

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Esquina a Churruca, Cerro, Ciudad de LaHabana, Cuba. Email: [valladaresi@ceinpet.cupet.cu](mailto:valladaresi@ceinpet.cupet.cu)

### RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en el marco del Proyecto 2509 "Exploración en bloques controlados por compañías extranjeras", correspondiente a la Etapa 1.1, dedicada a las propuestas de trabajos de exploración a realizar en el Bloque 7, con el objetivo de ver que áreas no resultaban de interés para la Cía Canadiense PEBERCO y posteriormente evaluar estas áreas para la exploración Onshore por parte de CUPET.

Durante la fase inicial de esta etapa se sostuvieron varias discusiones con la compañía canadiense PEBERCO para definir que zona del Bloque 7 abandonarían y cual quedaría en su poder. Finalmente la Cía canadiense PEBERCO decidió permanecer con una ventana que abarca un área de 106 Km<sup>2</sup> y cuya importancia está dada en que dentro de la misma está revelada al menos una estructura (Canimar).

Fuera del área de la Cía canadiense PEBERCO, se propone la perforación de siete pozos exploratorios a realizar por CUPET, a profundidades comprendidas entre 900 y 1500 metros con el objetivo de descubrir acumulaciones industriales de hidrocarburos.

Las propuestas de exploración en el bloque se presentan en un mapa a escala 1:50 000 donde están representadas la geología de superficie de todo el territorio, las columnas estratigráficas de los pozos exploratorios más significativos perforados en el área, los pozos exploratorios propuestos a perforar, la red de líneas sísmicas de reconocimiento adquiridas más recientemente en el territorio y las líneas propuestas a adquirir para detallar las estructuras reveladas: Pardo, Bacunayagua, Puerto Escondido Sur y Canimar. Además se muestra el polígono o ventana que quedó en manos de la Cía canadiense PEBERCO.

### ABSTRACT

The present paper was carried out in the mark of the project 2509 "Exploration in blocks controlled by foreign companies" where exploratory works are proposed in the block 7, with the goal for seeing which of the different areas are less interesting for the Canadian Company PEBERCO (rejected areas) and evaluate those areas for future onshore exploratory works for the part of CUPET company.

During the initial phase of this stage several discussions were sustained with the Canadian company PEBERCO to define which area of the Block 7 would abandon and which would be in their power. Finally the Canadian Co. PEBERCO decided to remain with a window that embraces an area of 106 Km<sup>2</sup>.

Outside of the area of the Canadian Co. PEBERCO, intends the drilling of seven exploratory wells to carry out for CUPET, to depths varying from 900 to 1500 meters with the objective of discovering industrial accumulations of hydrocarbons.

The exploration proposals in the block are presented in a map to scale 1:50 000 where they are represented the geology of surface of the whole territory, the stratigraphic columns of the most significant exploratory wells drilled in the area, the exploratory wells proposed to drill, the net of seismic lines of recognition acquired recently in the territory and the lines proposed to acquire to detail the revealed structures: Pardo, Bacunayagua, Puerto Escondido Sur and Canimar. It is also shown the polygon or window that it was in hands of the Canadian Co. PEBERCO.



## INTRODUCCION

El área en cuestión se caracteriza por presentar una geología muy compleja, debido a que tiene implícita estadios que involucran procesos de diferente naturaleza durante toda la evolución del país actual. La existencia de estructuras plegadas y cabalgadas (en dúplex) con sus respectivas morfologías, son las evidencias más fehacientes de lo anteriormente planteado las cuales han sido reconocidas tanto en superficie (levantamientos geológicos de superficie) como en el subsuelo (en pozos profundos realizados con fines petroleros).

Para comprender la estructura local del área es necesario conocer el marco geológico regional en el que ésta se formó, lo cual implica además (para el caso nuestro) el conocimiento de la evolución del Caribe. La naturaleza geológica de Cuba se remonta a periodos que abarcan (siguiendo los criterios de la tectónica de placas) desde los primeros estadios del Ciclo de Wilson hasta las etapas finales en la que ocurre la acreción del Arco de Islas Volcánicas con el Margen Continental (MC). Se puede plantear que todos y cada uno de los estadios jugaron un papel determinante en la formación de cada elemento y proceso que determinan los Sistemas Petroleros que originaron los yacimientos de petróleo descubiertos en la actualidad. Así, con la apertura del Rift ocurrió la acumulación de material detrítico proveniente de las zonas emergidas y de rocas evaporíticas (en estadios más avanzados) y con la deriva de las porciones continentales la respectiva deposición de las rocas de Margen Continental. En éstos estadios se dieron las condiciones mínimas indispensables para la acumulación de gran cantidad de materia orgánica que dieron origen a un gran volumen de rocas con gran potencial de generación de Hidrocarburos constituyendo las rocas madres de los yacimientos cubanos. En las rocas carbonatadas formadas en el MC, durante todo el proceso de subsidencia normal de la cuenca se creó una determinada porosidad primaria (porosidad de matriz) la cual fue favorecida por la acción de procesos diagenéticos, meteóricos (carso) y posteriormente por la acción sobre éstas de esfuerzos (en estadios posteriores) que dieron lugar a la fuerte fracturación de las mismas aumentando la porosidad, la cual, mejoró aún más por la acción de los flujos corrosivos dando lugar a las rocas reservorios, las cuales son las más difundidas y de mejor calidad en los yacimientos cubanos descubiertos. La fracturación además de otros conjuntos rocosos trajo consigo la formación de colectores, como son las rocas ofiolíticas y las constituyentes del arco todas agrietadas intensamente, que acumulan petróleos de mejor calidad que las carbonatadas.

La formación de las trampas tuvo lugar durante la orogenia cubana que tuvo sus inicios a finales del Cretácico con la colisión del Arco de Islas Volcánicas y el MC, concluyendo en el Eoceno Medio, periodo en el que cesan las grandes deformaciones producto a los cabalgamientos y comienza la acción de un nuevo régimen, establecido por el inicio de la transcurencia, la cual en su acción aún en la actualidad le dio la morfología actual a las estructuras. El apilamiento y acreción de las rocas del AIV y de corteza oceánica (Ofiolitas) obducidas sobre las rocas del MC, trajo consigo además la aceleración del proceso de maduración debido a que las rocas generadoras quedaron enterradas a profundidades, que se crearon las condiciones de presión y temperaturas adecuadas para la generación de Hidrocarburos, los que migraron y se acumularon en las trampas ya formadas.

En el área del Bloque -7, se demuestra todo lo planteado con anterioridad pues en el mismo se pueden reconocer todos los aspectos antes mencionados. Está demostrada la presencia en superficie de estructuras muy complejas (falladas, cabalgadas, deformadas) en las que están involucradas las rocas del denominado Terreno Zaza, en el que se incluyen las rocas del Arco y las de la corteza oceánica, que fueron emplazadas en mantos (zócalos) sobre las



rocas del Margen Continental, dando lugar a un sinnúmero de ambientes geológicos (plays) favorables para la acumulación de hidrocarburos los cuales serán descritos en el presente trabajo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo se partió del estudio de todos los materiales disponibles relacionados con las diferentes clasificaciones de trampas existentes a nivel mundial. Esto permitió plantear un sistema para la clasificación de los tipos de trampas para el caso específico de Cuba.

Para la determinación de los diferentes tipos de trampas se partió del análisis de un sinnúmero de datos primarios, que incluyen: datos de geología de superficie, gravimetría, magnetometría, sísmica, perforación de pozos, geomorfología, etc.

Luego de haber identificado todas las posibles trampas, se procedió a la confección de una clasificación propia para el caso de Cuba, en el que están presentes trampas de muy diversos tipos.

A partir de ésta clasificación, se procedió a determinar en la zona del bloque 7 onshore los posibles tipos de trampas a encontrar, lográndose determinar un conjunto de estructuras (trampas) que son factibles perforar por cuanto son estructuras yacentes a poca profundidad y con una calidad de los hidrocarburos mucho mayor que los presentes en la franja norte de crudos pesados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de las trampas

Aplicando la clasificación de las trampas de Levorsen (1967), en la cual se le da más peso a la génesis que a la forma de las trampas, logró reconocer para el caso específico de nuestro país tres tipos fundamentales de trampas, con sus respectivos subtipos (ver figura- 1):

#### I. Tectónicas.

- Estructuras en dúplex (mantos de sobrecorrimientos buzantes hacia tierra)
  - ✓ Pliegues en escama (tipo Placetas)
    - ▲ Combinadas ( $K_1^{ne} - J_3^t$ )
    - ▲ Fallamiento inverso ( $K_1^{ap} - K_2^t$ )
  - ✓ Plataforma sobreempujada
  - ✓ Pliegue frontal
- Igneas fracturadas
  - ✓ Selladas por la cobertura sedimentaria
  - ✓ Autosellantes
- Fallas de distensión
- Estructuras domales falladas

#### II. Estratigráficas

- Primarias en lentes o cambios faciales en rocas clásticas.
- Lentes o cambios faciales en rocas volcánicas.
- Lentes o cambios faciales en rocas calcáreas.

#### III. Mixtas

- Submantos
- Diapiros



En la zona objeto del presente estudio podemos encontrar fundamentalmente las trampas tectónicas, aunque en un sentido más preciso las debemos considerar como trampas combinadas, debido a que tenemos la yuxtaposición de trampas puramente estructurales con trampas estratigráficas. Esto se explica debido a que las trampas que tenemos en la actualidad tuvieron primero un origen (cársico) a fines del Campaniano – principio del Maestrichtiano, la cual produjo una buena porosidad y permeabilidad en las rocas, incrementadas aun más durante la orogenia con las numerosas fracturas que se formaron durante el plegamiento y la posterior corrosión por la acción de los flujos corrosivos que interactuaron con éstas. En ésta misma etapa se originaron los dúplex y pliegues escamas, que constituyen la forma actual de las trampas.

### **Análisis y caracterización de los Plays Exploratorios reconocidos en el área.**

En el área de estudio se pueden reconocer varios tipos de trampas las cuales pueden ser asociadas a determinados ambientes de búsquedas favorables para la exploración petrolera (play). En ese sentido vale la pena mencionar que tenemos tres tipos de play reconocidos en el área: play del Grupo Veloz, play en Carmita – Santa Teresa y el play en Serpentinitas (Terreno Zaza), cada uno con un estilo de entrapamiento determinado y con características particulares que serán explicadas a continuación.

#### **Breve caracterización del play del Grupo Veloz**

En éste play se reconoce el tipo de trampa: **Dúplex (mantos sobrecorridos buzantes hacia tierra)** y dentro de éste el subtipo **Pliegues en escama tipo Placetas**.

Se presentan en anticlinales fallados que poseen dimensiones entre 4 y 20 Km<sup>2</sup>, siendo sus ángulos de yacencia de hasta 75° en su flanco norte, entrapados contra las fallas inversas longitudinales y en su flanco sur tienen de 45 a 60° de buzamiento.

Las estructuras tienen de 5 a 10 Km de largo por 0.8 a 2 Km de ancho. En la capas predominan las rocas calcáreas muy fracturadas debido a los movimientos de cabalgamiento y con el desarrollo de cavernas producto del carso a que fueron sometidas durante el Cretácico. Las mismas poseen además, porosidad de matriz con un 8% promedio aunque en algunos casos llega hasta un 21%. Los procesos secundarios, llegan a elevar la porosidad de las rocas a 14 –18 % y la permeabilidad hasta el orden de los primeros Darcy, aunque en las cúpulas puede alcanzar valores superiores de hasta decenas de Darcy.

Este tipo de trampa se encuentra fundamentalmente desarrollado offshore y como ejemplo tenemos: Boca de Jaruco, Puerto Escondido – Canasí y Yumurí – Seboruco, que han producido hasta la actualidad más de 40 x 10<sup>6</sup> barriles. El petróleo es de mala calidad con densidades API de 14 y contenido de azufre de 6 %.

El sello lo constituyen las arcillas de la Fm. Vega Alta del Terciario.

En el área de estudio en el play del Grupo Veloz tenemos las estructuras formadas al sur de los yacimientos ya conocidos de la porción marina del bloque –7, las cuales forman trampas en dúplex, en mantos contra fallas inversas buzantes hacia tierra. Estas estructuras se corresponden con las presentes más al norte en los yacimientos Canasí – Puerto Escondido y Yumurí – Seboruco -Faustino, siendo una continuación hacia la parte terrestre de éste tipo de trampas, la cual mantiene las mismas características que las presentes en los yacimientos conocidos. En dichas estructuras es factible su perforación, por cuanto está demostrada su presencia. Hacia el Bloque –II (marino), tenemos también la presencia de este tipo de play (ver mapa anexo), por cuanto se reconoce una estructura por la sísmica 3D realizada e interpretada por la Cia. Sherritt International SA. la cual a pesar de no estar



mapeada en su totalidad, se nota de manera clara que existe una tendencia a levantar el tope de los carbonatos hacia la parte terrestre, y en tierra en la parte oriental del bloque -7, los pozos determinan el tope de los carbonatos del Grupo Veloz a una mayor profundidad por lo que es casi evidente su levantamiento hacia el encuentro con la porción mapeada en el mar. Estas consideraciones están basadas en argumentos concretos basados en los resultados de las perforaciones realizadas en el sector oriental del bloque -7 y por la sísmica 3D, por cuanto pensamos que se deben realizar los trabajos pertinentes con vista a preparar ésta estructura para la perforación con el menor riesgo posible.

### **Breve caracterización del play de Carmita – Santa Teresa.**

En este play se presenta el tipo de trampa denominado de **Fallamiento Inverso** el cual se presenta en pliegues escamas dentro de un mismo manto.

Estas escamas son una serie de pliegues de menores dimensiones que los de los mantos inferiores, dado a que el espesor efectivo cabalgado alcanza como máximo entre 500 y 600 m. las dimensiones de las escamas son 500 – 600 m de ancho por 800 de largo y un espesor productor de 50 m como promedio. En la producción éstos horizontes se conocen por la siglas B, C y A. las diferentes escamas en su conjunto forman yacimientos de hasta 9 Km.<sup>2</sup> de superficie. La Fm. Carmita del Cenomaniano –Turoniano, constituye los horizontes B y C estando representada por calizas, calizas organógenas fragmentarias, rocas silíceas, intercalaciones de capillas de arcillas, presentando alguna dolomitización con bitumen y petróleo denso en las fracturas y estilolitos. El tipo de porosidad es fracturado – interpartícula con una porosidad abierta de 7.6 % con un rango de 5.3 a 8.5 %.

La Fm. Bacunayagua es la capa A.

El sello de estas secuencias es un paquete del miembro los Mangos (Fm Vía Blanca) o en su defecto las serpentinitas alteradas que las sobreyacen tectónicamente.

En el área de estudio está presente al sur de las estructuras correspondientes a Veloz y estructuralmente por encima, formando parte de las escamas emplazadas sobre éstas, presentando aproximadamente el mismo estilo tectónico aunque con un menor tamaño de las escamas. Este tipo de estructura ha sido reconocida en zonas próximas a los yacimientos Boca de Jaruco y Varadero, en los que constituyen yacimientos importantes con petróleo de mejor calidad industrial que el presente en las rocas del Grupo Veloz. Al respecto R. San Román (2003, Tesis en opción al grado de Master en geología y Geofísica), plantea que es posible la delimitación de leads en apilados de las Fms. Carmita y Santa Teresa a lo largo de la costa (bloque -7) y al sur de los yacimientos conocidos en el bloque, además de la delimitación en la zona que denominó Pardo – Canimar, las cuales coinciden con las ideas planteadas con los autores del presente trabajo. Dentro de las estructuras, las de más perspectivas son las que se encuentran más al norte y dentro de éstas las porciones más prolíferas son las que se corresponden con las zonas de las cúpulas y próxima a las zonas de fallas, por cuanto existe una mayor densidad de agrietamiento, tal y como lo demuestran los resultados de las perforaciones realizadas en las áreas conocidas. Por otro lado es muy importante destacar que en las zonas cercanas a los sistemas de fallas transcurrentes, donde existe un espesor de serpentinitas, es posible la migración de petróleo hacia éstas, lo cual provoca que sea más propensa la formación de yacimientos hacia la zona de serpentinitas, encontrándose las estructuras de Carmita y Santa Teresa con poca acumulación de petróleo. Lo anterior ha sido demostrado por los resultados de los pozos Boca de Jaruco – 57 y Boca de Jaruco – 155 en el sector oriental de yacimiento.

Dentro del área de estudio se separaron varios sectores en los que está presente el play de Carmita - Santa Teresa (R. San Roman, 2003) y que a nuestro entender son los más perspectivas:





- I. Sur del yacimiento Boca de Jaruco (entre el extremo oriental del yacimiento BJ y Santa Cruz del Norte por la línea de costa) la profundidad de yacencia está por debajo de los 2500 m.
- II. Sector entre el pozo Jibacoa – 1X y la ensenada de Canasí por la línea de costa. En el extremo se desarrolla el máximo local del bloque –7, el cual es muy perspectivo por caer en un mínimo magnético regional. La profundidad de yacencia es de 1600 – 1800 m, aunque hacia el norte la profundidad debe ser menor de los 1600 m.
- III. Sector entre la ensenada de Canasí y el yacimiento Canasí – Puerto Escondido, en el que hay un desarrollo inminente de los apilados de Carmita – Santa Teresa, con su última escama frontal, donde deben acumularse las mayores reservas. La profundidad de yacencia es de 1400 – 1600 m.
- IV. Sector al sur del yacimiento Yumurí – Seboruco – Faustino. Se halla al norte del campo débilmente ruidoso y un máximo localmente débil. Se espera una profundidad de yacencia similar al yacimiento Yumurí (1300 – 1700 m).
- V. Sector al Este de Faustino y Bahía de Matanzas con profundidad de yacencia de 1400 – 1600 m (en base a trabajos sísmicos realizados)

Se han reconocido estructuras en este play además de las ya mencionadas, hacia la parte del bloque II (marino), en el que se describe una estructura que a pesar de presentar su mayor expresión hacia el mar, se supone su continuidad hacia la parte terrestre alcanzando un desarrollo importante hacia ésta porción. Dicha estructura fue mapeada por DIGICUPET con los resultados de la sísmica 2D realizada por la Sherritt en el bloque. Esta estructura es conocida como Santa Teresa y se muestra en el mapa anexo.

### **Breve caracterización de las estructuras en el play del Terreno Zaza del Bloque -7 onshore.**

#### **En este play se reconocen las trampas de tipo:**

- ▲ **Igneas fracturadas selladas por la cobertura sedimentaria.**
- ▲ **Igneas fracturadas autosellantes.**

Las primeras se localizan fundamentalmente en zonas muy fracturadas, producto de los movimientos de cabalgamiento regional, en los bordes de los mantos con una posición estructural favorable. Estas trampas tienen producciones bastante altas y estable de petróleo en reservorios fracturados de naturaleza ígnea.

Las trampas individualmente son pequeñas (menores de 1Km.), constituidas por pliegues escamas de poco espesor y ancho, aunque en ocasiones alcanzan mayores dimensiones al presentarse varias escamas unidas en un solo yacimiento.

El tipo de porosidad va desde fracturado a interpartícula-fracturado, a veces cavernoso y la porosidad oscila entre 2 – 20 %. El sello de estos yacimientos es el Flysh del Miembro. Los Mangos de la Fm Vía Blanca.

Por su parte las trampas Igneas fracturadas autosellantes está asociada a las secuencias ofiolíticas del terreno Zaza y se presenta de las siguientes formas:

- I. Relacionadas con las fallas de cabalgamientos que dividen las ofiolitas en varios mantos, provocando una zona de melange muy triturada de arios tipos de rocas (peridotitas, gabros, diabasas, serpentinitas y tobas), si bien las rocas antes de ser trituradas no presentan ningún tipo de porosidad, después de los procesos de fracturación adquieren una porosidad promedio de 13% con un rango de 6 –28%. El tipo de porosidad es principalmente del tipo fracturado y fracturado- interpartículas.





Las trampas tienen una forma alargada y estrecha asociada a las zonas de mayor trituración. Sus dimensiones son por lo general del orden de los 400 m de ancho por 1500 m de largo, aunque en ocasiones son de 200 por 500 y solo excepcionalmente alcanzan los 3000 m de largo. Este tipo de trampa está asociado a las ofiolitas estando ejemplificadas en los yacimientos de Santa María, Guanabo y Jarahueca.

El sello lo conforman las serpentinitas alteradas, que por fenómenos secundarios se comportan como arcillas o las propias ofiolitas no fracturadas, o sea, distantes de las zonas de fallamiento.

El tipo de petróleo presente en las mismas es variable, hacia el sur posee características excelentes con densidades de hasta 40° API y 0.4 % de azufre, como por ejemplo las estructuras Madruga y Pardo. Hacia el norte, las características de éstos petróleos empeoran por lo general, llegando a tener densidades de hasta 15 ° API y 3 % de azufre.

Es posible encontrar en el área correspondiente al Bloque -7 onshore estructuras con éstos tipos de trampas y que constituyen objetivos someros (menos de 1200 m de profundidad), en los cuales es factible la perforación de pozos exploratorios dado a su relativo bajo costo de ejecución y por presentar estas un petróleo de mejor calidad. Tales estructuras se encuentran básicamente en las rocas del Terreno Zaza (play de las Ofiolitas), por cuanto éstas tienen un amplio desarrollo tanto en superficie como en profundidad en el área, lo cual hace su búsqueda un poco más compleja dada la baja resolución de la sísmica en presencia de éstas litologías lo cual trae consigo que las estructuras detectadas presenten un elevado riesgo. La existencia de trampas gasopetrolíferas en las rocas del Terreno Zaza, está totalmente demostrada por la presencia de varios yacimientos (Cruz Verde – Bacuranao, Santa María, Peñas Altas, Guanabo – Brisas, Boca de Jaruco – Vía Blanca y Madruga), en los cuales las estructuras se encuentran a profundidades que oscilan entre los 300 y 1000 m de profundidad cargadas con petróleo de mejor calidad, lo cual compensa la poca cantidad de reservas comparadas con las encontradas en los yacimientos en las secuencias de la UTE Placetas.

Las estructuras propuestas aquí fueron determinadas producto de la aplicación de un complejo de métodos científicamente argumentado, lo cual es una garantía a la hora de llevar a cabo la perforación, por cuanto cuantifica el riesgo de cada una de las estructuras. Se revelaron ocho objetivos factibles para la perforación (Otero R., 2002) y a partir de éstos se proponen la realización de 13 pozos exploratorios. Las profundidades de los mismos oscilan entre los 800 y 1500 m.



Los objetivos determinados fueron los siguientes:

Nº	Objetivo	Zona tectónica de localización	Profundidad de los pozos
1	Esperanza	La Coca.	1000
2	San Lázaro	La Coca.	1200
3	Vía Crucis	Picadura.	1200
4	Fraile Sur	Sub zona Santa Cruz	1000
5	P. Escondido sur	Canasí San Adrián.	1000
6	Santa Rita	Almendares San Juan.	1200 – 1500
7	Bacuranao Oeste	Zona Cruz Verde	800
8	Puerto Escondido	Puerto Escondido - Yumurí	900

Tabla I. Objetivos favorables para la exploración.

Como ejemplo caracterizamos a continuación el objetivo San Lázaro

#### **Objetivo San Lázaro.**

La propuesta de perforación para el área denominada San Lázaro se encuentra ubicada a 2 kilómetros al Este del poblado de San Antonio de Río Blanco y a 3 kilómetros al nordeste del pueblo Jaruco. En el área y sus alrededores afloran margas y calizas arcillosas pertenecientes a las formaciones Encanto (Eoceno Superior) y Universidad (Eoceno Inferior y Medio indiferenciado), areniscas, conglomerados y arcillas del Grupo Víbora (Paleoceno), calizas, calcarenitas y margas de la Formación Jaruco (Mioceno Superior-Plioceno).

El área fue reconocida como perspectiva por el patrón productivo de Motembo y está caracterizada por un máximo gravimétrico residual de 1.5 miligales. En los flancos del máximo gravimétrico que define el objetivo se encuentran perforados los pozos San Lázaro No.1 y Liborio No.1. el pozo San Lázaro tuvo una entrada de 36 barriles/ día de petróleo de 13 ° API en la Fm. Vía Blanca a 500 m aproximadamente. El objetivo se encuentra detectado por dos perfiles sísmicos.



## CONCLUSIONES

1. Se lograron determinar una serie de estructuras favorables para la perforación en el área del Bloque 7 onshore.
2. Se reconocen varios tipos de trampas en el bloque estudiado.
3. Las estructuras reconocidas son favorables para la perforación dado a su poca profundidad de yacencia y mejor calidad del crudo en comparación con el presente en la franja norte de crudos pesados.
4. El play más difundido en el área del bloque 7 onshore es el perteneciente al Terreno Zaza.
5. El play del Grupo Veloz se limita hacia la parte más norteña (offshore).
6. El Play de Carmita - Santa Teresa se limita hacia la parte sur de los yacimientos conocidos costa afuera en el Bloque 7 y en los límites del bloque II (offshore)
7. Dentro del área de estudio se separaron 5 sectores que a nuestro entender son los más perspectivas el play de Carmita - Santa Teresa (R. San Roman, 2003).

## BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Castro J., et. al., 1998. Evaluación de Leads para la exploración de los bloques 6, 7, 9 y 10. Archivo Ceinpet.
2. Levorsen, 1967. Geología del Petróleo.
3. San Román Gonzáles R., 2003. Posibilidades de localizar objetivos con petróleo medio a ligero en el play del Cretácico Medio en la Región Habana – Matanzas. Tesis en opción al grado de Master en Geología y Geofísica.

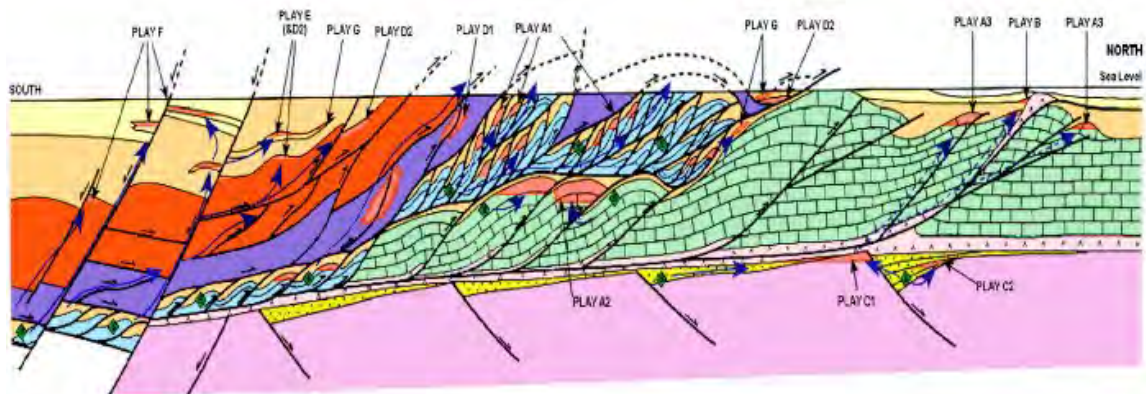
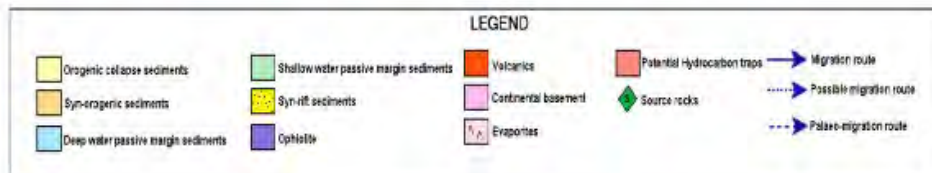


Fig. 1 **HYDROCARBON SUMMARY CENTRAL CUBA**





## ESTUDIOS DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA LA PERFORACIÓN DE UN POZO EN EL YACIMIENTO BOCA DE JARUCO

**Orlando Bagué Maceo**<sup>(1)</sup>, **Elinor Teruel**<sup>(2)</sup>, **Esther María Bisbet**<sup>(3)</sup> y **Jesús Ríos Montano**<sup>(4)</sup>

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), Washington # 169 esq. Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, C.P. 12 000, C. Eléct.: [obague@ceinpet.cupet.cu](mailto:obague@ceinpet.cupet.cu)

(2) Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo (EPEPocc), Vía Blanca Km 37 1/2, Sta Cruz del Norte, La Habana, Cuba, C. Eléct.: [elinor@epepo.cupet.cu](mailto:elinor@epepo.cupet.cu)

(3) Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo (EPEPocc), Vía Blanca Km 37 1/2, Sta Cruz del Norte, La Habana, Cuba, C. Eléct.: [sissy@epepo.cupet.cu](mailto:sissy@epepo.cupet.cu)

(4) Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo (EPEPocc), Vía Blanca Km 37 1/2, Sta Cruz del Norte, La Habana, Cuba, C. Eléct.: [rios@epepo.cupet.cu](mailto:rios@epepo.cupet.cu)

### RESUMEN

El estudio de la simulación numérica de la capa E3 y E4 del yacimiento Boca de Jaruco se realiza con el objetivo de justificar la perforación de un caño (reentry) en el pozo BJ-801, y de esta forma extraer las reservas remanentes en el área.

Para ello tuvimos que ejecutar dos simuladores de la compañía canadiense CMG, el primero (Winprop) para reconstruir los datos PVT del área que no eran confiables debido a la poca información que se posee del área en estudio, contando solo con el dato de la presión de saturación, la relación gas-petróleo, la densidad del petróleo en condiciones de reservorio y la viscosidad del fluido en condiciones de reservorio; por lo que fue necesario completar dicha información sin la cual el simulador Black Oil no hubiese podido trabajar.

Después de este primer análisis y corrida del simulador de las propiedades de los fluidos se obtuvieron los siguientes parámetros a distintas presiones, desde la presión inicial del yacimiento hasta la presión atmosférica: gas en solución, factor de formación, viscosidad del petróleo, viscosidad del gas, compresibilidad del petróleo.

Con la preparación del segundo set de datos para la corrida del simulador Black Oil se pudieron ejecutar los trabajos de simulación numérica y comprobar el estado de las reservas en dicha área. A partir de ahí, perforamos digitalmente el caño en el pozo BJ-801 en las capas E3 y E4 de nuestro yacimiento virtual y comprobamos la efectividad de acometer el trabajo, comprobando una vez más la certeza de la utilización de los simuladores como herramientas administrativas en la Ingeniería de Yacimientos.

### ABSTRACT

The E3-E4 Numeric Simulation Study of Boca de Jaruco field are carried out with the objective of justifying the drilling (reentry) of BJ-801R well, and this way to extract all remaining reserves in the area.

For do that, we run two software of the Canadian company CMG, the first one (Winprop) to reconstruct the PVT data that were not reliable due to the little information that was possessed of the area, counting alone with the fact of the saturation pressure, the gas-oil relation, the oil density at reservoir conditions and fluid viscosity at reservoir conditions. For this case was necessary to complete this information to after that run the Black Oil Simulator.

After this first analysis and run the fluid property software, the following parameters were obtained at different pressures, from the initial reservoir pressure to the atmospheric pressure: gas in solution, formation factor, oil viscosity, gas viscosity, oil compressibility.

When the second data Set (for the Black Oil Simulator) was ready, the Numeric Simulation Studies could be executed and to check the reserve state in this area. Starting from there, we digitally drilled the well BJ-801R in the E3-E4 layers in our virtual reservoir and we check the effectiveness of attacking the work,



checking the certainty of the use of the simulators like administrative tools in Reservoir Engineering once again.

## INTRODUCCIÓN.

El yacimiento Boca de Jaruco se encuentra en explotación desde el año 1969 cuando se perforó y puso en producción el pozo de exploración BJ- 002. A partir de este momento continuó la exploración y evaluación del campo lo que permitió establecer 10 horizontes productivos de hidrocarburo en el yacimiento a los que se denominaron: A, A1, A2, S1, S2, S3, B, C, D, E.

El presente estudio se realiza para el Bloque Central del Yacimiento Boca de Jaruco y contempla los objetivos E3 y E4 para los que se perforaron los pozos de la serie de los ochocientos.

Desde el punto de vista geológico estos dos objetivos junto con E1 y E2 forman el apilado de pliegues tipo escamas de Boca de Jaruco pero separados por intercalaciones arcillosas de Vega Alta, con contactos agua petróleo diferentes.

En el presente trabajo solo se ha logrado definir las reservas actuales con el fondo de pozos existentes y por los métodos tradicionales de explotación, además de terminar el estudio de simulación para estos objetivos buscando optimizar la explotación de los pozos y el incremento del factor de recuperación, ya sea por la realización de trabajos a los actuales pozos o por la propuesta de nuevos pozos o reentradas a algunos de los existentes.

## INFORMACIÓN GEOLÓGICA.

Por datos de ensayo, producción, investigaciones hidrodinámicas y el comportamiento productivo del yacimiento cada uno de los objetivos E3 y E4 parecen formar unidades hidrodinámica independientes con contactos agua petróleo diferentes.

Las dimensiones del apilado de los tres pliegues (E2, E3 y E4) en el Bloque Central del Yacimiento Boca de Jaruco es de unos 4.5Km de largo por unos 2Km de ancho, con una profundidad absoluta en la cúpula de unos 1200m y se hunde de forma monoclinal hacia el sur hasta -1969m en el pozo BJ 64. El límite Este de los pliegues es una falla de tipo rechazo horizontal (strike slip) que lo separa del Bloque Este y el límite Oeste también es una falla del mismo tipo que lo separa del Bloque de Vía Blanca.

El pliegue E3 se muestra en el mapa estructural **de la figura 1** con cierre seguro más alto entre 1150 y 1200m por sísmica y datos de pozos el que se hunde también hacia el sur y se separa de la capa E2 por un sello perteneciente posiblemente a Vega Alta.

El Contacto Agua Petróleo (CAP) para este objetivo se estima en -1350m debido a que el pozo BJ 715 obtuvo agua con trazas de petróleo a -1360m y el resto de los pozos perforados de la serie de los ochocientos perforados a profundidades verticales entre 1240 y 1252m han dado petróleo.

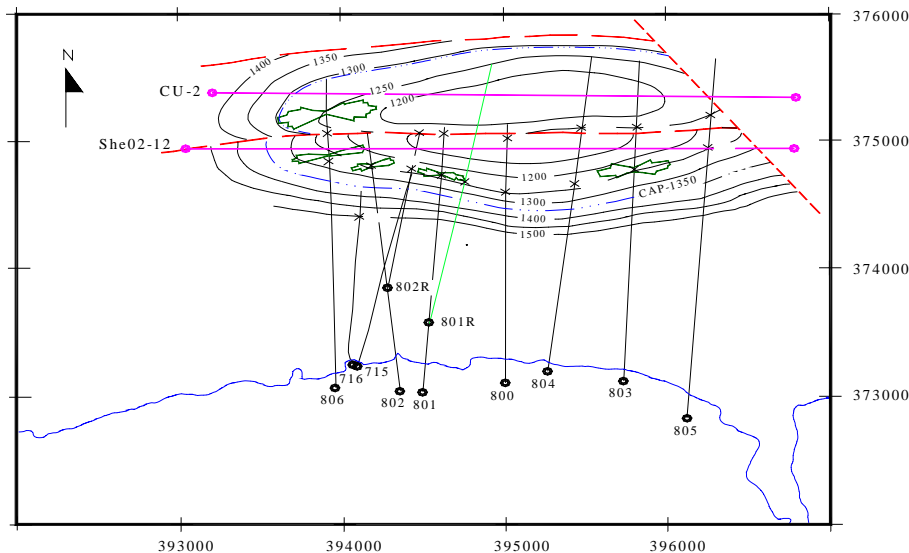
El pliegue E4 está ubicado por debajo de E3 aunque separado de este por un sello arcilloso de Vega Alta tiene su parte más alta a -1200m y al igual que los otros pliegues se hunde hacia el Sur, así como se observa **en la figura 1** con el mapa estructural de E3 y E4.





Figura 1. Mapa estructural E3-E4

Yacimiento Boca de Jaruco. Mapa estructural por el tope de los Mantos E3 y E4



La perforación del pozo BJ-806, penetra en capa a 2646m, absoluta 1291m, resultando en el ensayo acuífero y se establece el CAP a 1291m. Según los datos aportados por los pozos el contacto agua petróleo de E<sub>3</sub> puede estar en los 1350m, pero en E<sub>4</sub> debe estar no más profundo de los - 1290 a 1300m.

## INGENIERÍA DE YACIMIENTOS.

### Regímenes de trabajo de los depósitos.

En general el comportamiento de las dos capas E3 y E4 en sus condiciones iniciales producen por encima de la presión de saturación, iniciando su producción en el régimen elástico y al tener un potente acuífero en comparación a la acumulación de petróleo la presión decae muy poco, se observa una fuerte actividad del acuífero por lo que se podría hablar de un régimen de empuje de agua parcialmente activo.

### Red de pozos.

Estos dos objetivos se diseñan para explotarse en conjunto por no tener grandes dimensiones y con pozos horizontales equidistante a 400m entre pozos y a una profundidad vertical de 1250m que es prácticamente el valor medio entre la cúpula y el contacto agua petróleo.

### Mapa de Ubicación de los pozos.

En el mapa estructural E3-E4 aparecen los pozos que cortaron estos objetivos (Figura 1) así como el pozo propuesto para la reentrada, el pozo BJ-801re.

### Contactos agua petróleo.

Cada objetivo tiene un contacto agua petróleo diferente por lo que se estimó un CAP para E3 de 1350m y un CAP para E4 de 1290-1300m.



### Cantidad de pozos a perforar.

En el presente trabajo solo se propone una reentrada en el pozo BJ-801 y se realiza una simulación de estos depósitos para determinar y optimizar la explotación de los mismos y su análisis de factibilidad económica.

### Análisis hidrodinámico.

La tabla I muestra los datos y resultados de las investigaciones hidrodinámicas realizadas en los pozos del área.

Tabla I. Investigaciones hidrodinámicas realizadas en los pozos del área

	<b>BJ-800</b>	<b>BJ-801</b>	<b>BJ-802</b>	<b>BJ-802re</b>	<b>BJ-803</b>	<b>BJ-804</b>	<b>BJ-806</b>
Presión de Capa Inicial (atm)	148,05	150,16	143,2		149,12	150	
Presión de Fondo (atm)	143,09	81,64	102,12		111,16	142,27	
Profundidad de Medición (m)	1170	1219	1219		1219	1217	
deltaP	4,96	68,52	41,08		37,96	7,73	
Pcap 1250	155,41	153,012	146,05		151,97	153,03	
Fecha	oct-99	abr-00	jun-00		ago-00	may-01	

Después de las investigaciones iniciales realizadas a los pozos, solo se han efectuado mediciones de las presiones de capa (Pc) en los pozos BJ-802 y 804, el primero arrojó una presión de 114.4atm/734m, muy importante para los trabajos de reentrada planificados. El segundo tuvo como resultado una presión de capa de 144.98 atm, es decir, aproximadamente 6 atm por debajo de la inicial registrada en el pozo con una producción acumulada para el depósito de 324184 m<sup>3</sup> de petróleo registrando una producción de 54000 m<sup>3</sup> de petróleo por cada caída de atmósfera de presión. Aquí, de los pozos nuevos perforados (BJ-805 y 806) se investigó el 806 que arrojó una Pc de 149.06 atm, a 1219m (tvd).

### Propiedades colectoras.

El área presenta buenas propiedades colectoras, con permeabilidades que varían entre cientos mD hasta varios Darcy, correspondiendo a la parte central las mejores características de flujo. Estos valores fueron calculados por las curvas de investigaciones hidrodinámicas realizadas a los pozos. En ellas se evidencian efectos de doble porosidad y permeabilidad lo que le da el carácter de reservorio fracturado poroso con presencia de vórgulos y cavernas en las rocas. En las imágenes observadas a través de los registros FMI y FMS también se observa este comportamiento.



La porosidad de la matriz, según los ajustes realizados en el modelo de la simulación numérica de yacimientos, varía entre un 8 y un 12 %, mientras que el valor medio de la porosidad de fractura es de 0.8 %. El valor de la saturación de petróleo del área es de un 80 %.

### Propiedades físico químicas de los fluidos de formación en condiciones de capa .

Los datos PVT fueron tomados de los estudios PVT realizados al pozo BJ-800 (Anexo 3.g) donde solo se obtuvieron la presión de saturación, la relación gas petróleo en solución a la presión de saturación, la densidad, el factor de formación del petróleo y la viscosidad del fluido a la presión de saturación como datos fundamentales. Para la obtención de los demás datos necesarios para el simulador se utilizó el programa de CMG WINPROP y de esta forma se calcularon las dependencias de las distintas propiedades de los fluidos desde la presión inicial del yacimiento hasta la presión atmosférica.

### TRABAJOS DE SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL ÁREA

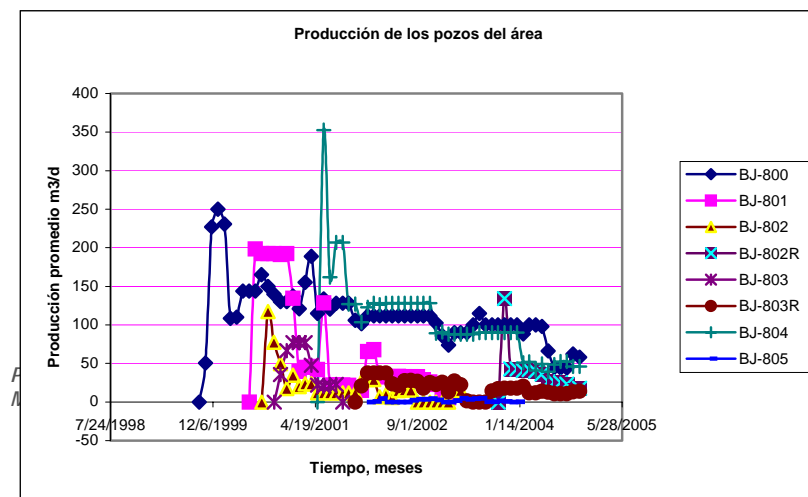
El modelo de Simulación Numérica del área se realizó atendiendo al comportamiento del complejo de curvas geofísicas; radiactivas (gamma espectral, total, registros neutrónicos) y curvas de resistividad aparente. Además de datos de carotage gaseoso, así como litológicos. El corte de las rocas del Grupo Veloz para los mantos tectónicos E3-E4, del Bloque III del yacimiento Boca de Jaruco quedó dividido por pozos en las capas E3-I, E3-II, Vega Alta I, E4-I, E4- II, E4-III y Vega Alta II. Cada profundidad tomada necesitó de una corrección por el ángulo y azimut para obtener profundidades absolutas, desplazamiento horizontal y coordenadas para cada uno de los puntos, para lo cual nos apoyamos en el Soft Inclín. Para cada una de las capas y tomando como referencia el tope se confeccionaron los mapas estructurales. Además de uno, que lo denominamos envolvente, que abarca el tope de todas las capas. Las construcciones estructurales estuvieron apoyadas en los cortes geológicos o perfiles por cada pozo.

En la presente estudio se realizaron varios trabajos complementarios relacionados con la perforación del pozo BJ-801 ya que en su primera fase se quedaron varias tareas pendientes como la valoración económica del área y del pozo; y quedaba pendiente averiguar si con los pozos existentes se podría extraer las reservas del área sin necesidad de una nueva perforación.

### Interferencia entre los pozos existentes según datos de producción

Antes de empezar a realizar cualquier variante en el simulador, nos dimos a la tarea de analizar el comportamiento productivo de los pozos ya existentes y observar si se apreciaba algún indicio de interferencia entre los pozos vecinos a la futura perforación del pozo BJ-801R que impidiera la perforación de este (Figura 2).

Como se observa en la figura 2, no se apreciaba ningún

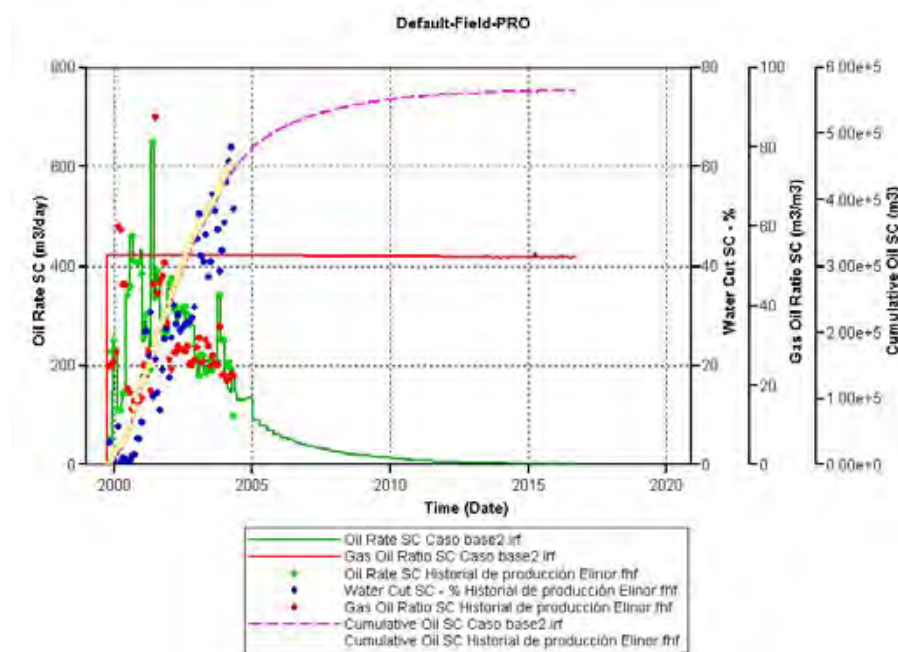




síntoma de interferencia entre los pozos a la distancia en que fueron perforados.

Figura 2. Gráfico productivo de los pozos existente en el área.

### Simulación del área de estudio sin la perforación del pozo BJ-801R

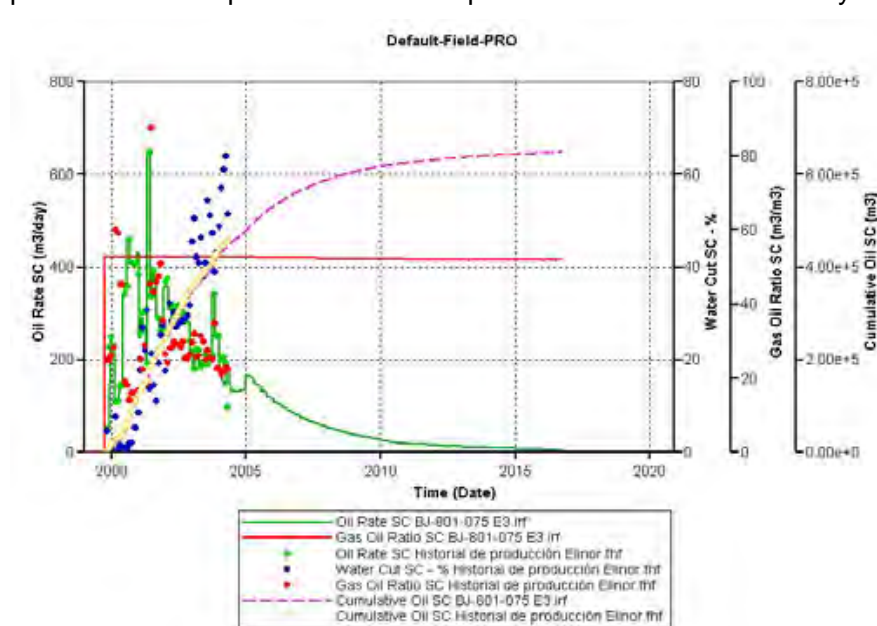


Después de hacer el ajuste histórico de los datos productivos de los pozos, se realiza un pronóstico de la producción de los pozos existentes en el área sin la perforación del pozo BJ-801R. Los datos de producción se extrapolaron según el comportamiento de las curvas de declinación exponencial de los pozos. Bajo estas condiciones el reservorio es capaz de extraer 565720 m<sup>3</sup> de petróleo (Figura 3).

Figura 3. Indicadores de explotación del área sin la perforación del pozo BJ-801R

### Simulación del área de estudio con la perforación del pozo BJ-801R

Después de hacer el ajuste histórico de los datos productivos de los pozos, se realiza un pronóstico de la producción de los pozos existentes en el área y se perfora el pozo BJ-801R.



Los datos de producción de todos los pozos se extrapolaron según el comportamiento de las curvas de declinación exponencial de los pozos. Se pronostica que el pozo BJ-801R empieza con una producción inicial de 75 m<sup>3</sup>/d y declina su producción con un coeficiente de 30 % anual, valor promedio para toda el área. Para este caso el reservorio es capaz de extraer



647846 m<sup>3</sup> de petróleo (Figura 4).

Figura 4. Indicadores de explotación del área con la perforación del pozo BJ-801R

Según los resultados que nos brinda el simulador, la perforación del pozo BJ-801R aporta más de 80000 m<sup>3</sup> de petróleo adicional y no se observa interferencia con los pozos vecinos (Figura 5).

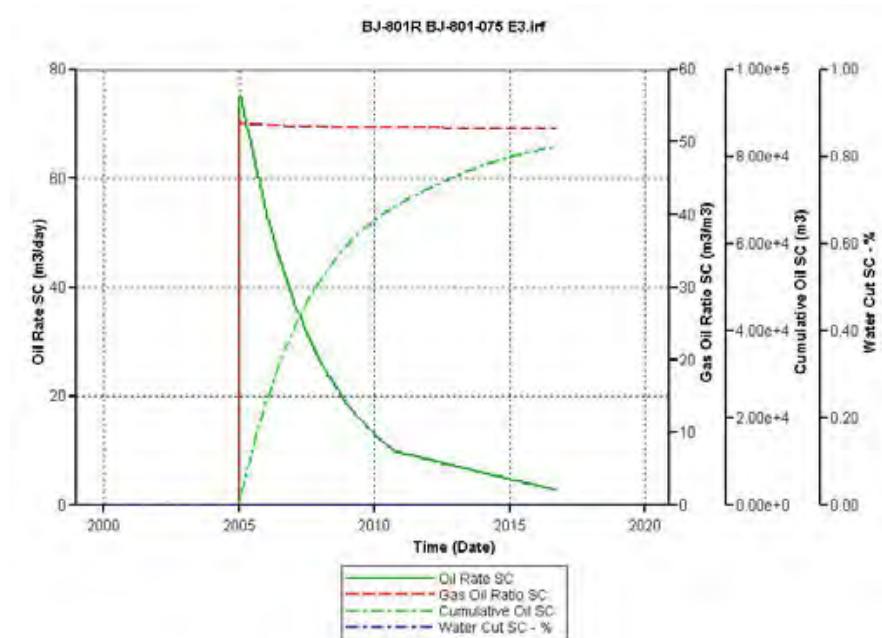


Figura 5. Indicadores de explotación del pozo BJ-801R

### Coefficiente de recuperación de las reservas.

Hasta octubre del 2004 se habían extraído más de 470000 m<sup>3</sup> de petróleo lo que representa un coeficiente de recuperación hasta la fecha de 1.3 % de los recursos in situ calculados por el simulador.

Teniendo en cuenta los coeficientes de declinación que presentan los pozos y con el comportamiento del pronóstico de la producción y los trabajos de simulación realizados, el área es capaz de producir hasta 565000 m<sup>3</sup> de petróleo sin la perforación del pozo BJ-801R y 647000 con la perforación de este, lo que equivale a un coeficiente de recuperación para el área de 1.5 % y 1.8 % respectivamente.

Estos coeficientes de recuperación tan bajos pueden estar influenciados por las incertidumbres existentes en los cálculos de los parámetros petrofísicos, además de las características de los fluidos.

### VALORACIÓN ECONÓMICA

Para realizar la valoración económica de la perforación del pozo se tomaron en cuenta dos variantes de producción.

La primera: El pozo empieza con una producción inicial de 75 m<sup>3</sup>/d y declina con un coeficiente de declinación anual de 30 % (Tabla II). Para este caso, el pozo es capaz de amortizar su

inversión en un año, tiempo aceptable para los parámetros que posee CUPET para la amortización de las inversiones.

Tabla II. Análisis económico Variante 1

	Qp(m3/d)	Qp=m3/mes	QpAcum (m3)	Valor producción (usd)	Valor Acum (usd)	Costo Operaciones	Vcosto Acum Usd	Ganancia o adeudo
Jan-05	75	2325.0	2325.0	292.95	292.95	11.63	11.63	-2718.68
Feb-05	73.13	2047.5	4372.5	257.99	550.94	10.24	21.86	-2459.30
Mar-05	71.25	2208.8	6581.3	278.30	829.24	11.04	32.91	-2181.81
Apr-05	69.38	2081.3	8662.5	262.24	1091.48	10.41	43.31	-1918.93
May-05	67.50	2092.5	10755.0	263.66	1355.13	10.46	53.78	-1655.33
Jun-05	65.63	1968.8	12723.8	248.06	1603.19	9.84	63.62	-1406.65
Jul-05	63.75	1976.3	14700.0	249.01	1852.20	9.88	73.50	-1157.68
Aug-05	61.88	1918.1	16618.1	241.68	2093.88	9.59	83.09	-915.71
Sep-05	60.00	1800.0	18418.1	226.80	2320.68	9.00	92.09	-688.32
Oct-05	58.13	1801.9	20220.0	227.04	2547.72	9.01	101.10	-461.29
Nov-05	56.25	1687.5	21907.5	212.63	2760.35	8.44	109.54	-248.09
Dec-05	54.38	1685.6	23593.1	212.39	2972.73	8.43	117.97	-35.69
Jan-06	52.50	1627.5	25220.6	205.07	3177.80	8.14	126.10	169.66
Feb-06	51.19	1433.2	26653.9	180.59	3358.39	7.17	133.27	351.22
Mar-06	49.87	1546.1	28200.0	194.81	3553.20	7.73	141.00	545.47
Apr-06	48.56	1456.9	29656.8	183.56	3736.76	7.28	148.28	729.48
May-06	47.25	1464.7	31121.6	184.56	3921.32	7.32	155.61	913.99
Jun-06	45.94	1378.1	32499.7	173.64	4094.96	6.89	162.50	1088.07
Jul-06	44.62	1383.4	33883.0	174.30	4269.26	6.92	169.42	1262.35
Aug-06	43.31	1342.7	35225.7	169.18	4438.44	6.71	176.13	1431.73
Sep-06	42.00	1260.0	36485.7	158.76	4597.20	6.30	182.43	1590.90
Oct-06	40.69	1261.3	37747.0	158.92	4756.12	6.31	188.73	1749.81
Nov-06	39.37	1181.2	38928.2	148.84	4904.96	5.91	194.64	1899.05
Dec-06	38.06	1179.9	40108.1	148.67	5053.63	5.90	200.54	2047.73

La segunda: El pozo empieza con una producción inicial de 100 m<sup>3</sup>/d y declina con un coeficiente de declinación anual de 30 % (Tabla III). Para este caso, el pozo es capaz de amortizar su inversión en solo 8 meses, tiempo excelente comparado con los parámetros o patrones que posee CUPET para la amortización de las inversiones.

Para ambos casos solo se consideró que el pozo era capaz de producir 55000 m<sup>3</sup> de petróleo y para el cálculo se tomó como base el precio de 20 dólares/barril como medida estándar para valorar los proyectos petroleros. Si hubiésemos tenido en cuenta los precios actuales del crudo, estos valores calculados fuesen mucho más optimistas.





Tabla III. Análisis económico Variante 2

	Qp(m3/d)	Qp=m3/mes	QpAcum(m3)	valor prod.usd	Valor Acum usd	Costo Operaciones usd	Vcosto Acum Usd	Ganancia o adeudo
Jul-05	100	3100.0	3100.0	390.60	390.60	15.50	15.50	-2624.90
Aug-05	97.50	3022.5	6122.5	380.84	771.44	15.11	30.61	-2243.68
Sep-05	95.00	2850.0	8972.5	359.10	1130.54	14.25	44.86	-1883.72
Oct-05	92.50	2867.5	11840.0	361.31	1491.84	14.34	59.20	-1522.50
Nov-05	90.00	2700.0	14540.0	340.20	1832.04	13.50	72.70	-1181.46
Dec-05	87.50	2712.5	17252.5	341.78	2173.82	13.56	86.26	-839.75
Jan-06	85.00	2635.0	19887.5	332.01	2505.83	13.18	99.44	-507.35
Feb-06	82.50	2310.0	22197.5	291.06	2796.89	11.55	110.99	-214.67
Mar-06	80.00	2480.0	24677.5	312.48	3109.37	12.40	123.39	96.96
Apr-06	77.50	2325.0	27002.5	292.95	3402.32	11.63	135.01	390.69
May-06	75.00	2325.0	29327.5	292.95	3695.27	11.63	146.64	683.64
Jun-06	72.50	2175.0	31502.5	274.05	3969.32	10.88	157.51	958.44
Jul-06	70.00	2170.0	33672.5	273.42	4242.74	10.85	168.36	1231.89
Aug-06	68.25	2115.8	35788.3	266.58	4509.32	10.58	178.94	1498.74
Sep-06	66.50	1995.0	37783.3	251.37	4760.69	9.98	188.92	1750.71
Oct-06	64.75	2007.3	39790.5	252.91	5013.60	10.04	198.95	2003.57
Nov-06	63.00	1890.0	41680.5	238.14	5251.74	9.45	208.40	2242.29
Dec-06	61.25	1898.8	43579.3	239.24	5490.99	9.49	217.90	2481.49

Consideramos que con los pozos existentes y la reentrada que proponemos en el pozo BJ-801 queda cubierta toda el área a drenar en esta parte del yacimiento Boca de Jaruco y no recomendamos la perforación infield de otro pozo que no sea el BJ-801R.

## CONCLUSIONES

1. El yacimiento es muy heterogéneo y la perforación de nuevos pozos trae consigo la producción de petróleo y agua, si tenemos en cuenta que estamos en presencia de un acuífero semiactivo en la zona de estudio.
2. La perforación del pozo BJ-801R es técnica y económicamente factible, como se demuestra en el informe.
3. Con los pozos existentes y la perforación del pozo BJ-801R queda terminada la red de pozos para esta área.
4. Para el mejoramiento o aumento adicional de la producción se deben realizar tratamientos en los pozos ya existentes.

## RECOMENDACIONES

- Perforar el pozo BJ-801R para aumentar el coeficiente de entrega del área.
- Para el mejoramiento o aumento adicional de la producción se deben realizar tratamientos a los pozos BJ-803R y BJ-805 como opciones a tener en cuenta.
- La perforación del pozo BJ-801R debe realizarse solo después de comprobar que el agua proviene de E4, cuando se aisle con packer el pozo BJ-802R.



## **BIBLIOGRAFÍA**

Bagué, O., Otros. 2004. Factibilidad de la perforación del pozo BJ-801R. Proyecto 2219. CEINPET. 61p.

CMG Company. 2004. IMEX Black Oil Simulator.

EPEP Occidente. 2004. Archivos y documentos de la empresa

Slider H.C., 1989. Worldwide Practical Petroleum Reservoir Engineering Methods. Pennwell Publishing Company. Tulsa. Oklahoma: 109p.



## **SOBRE EL PROBLEMA DE LA BIODEGRADACIÓN EN LOS PETRÓLEOS CUBANOS**

O. Pascual Fernández<sup>1</sup>, J. O. López Quintero<sup>1\*</sup>.

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) Washington No. 169, Cerro, La Habana 12000, Cuba. Teléfono (537) 577309, Fax (537) 6426021, E-mail: jorlando@ceinpet.cupet.cu

Durante algún tiempo se pensó que las características físico-químicas de algunos petróleos cubanos estaban dadas fundamentalmente por efectos de biodegradación. En el presente trabajo se presenta un estudio sobre la extensión de la biodegradación en diferentes yacimientos y áreas del país, empleando resultados de análisis físico - químicos generales, cromatografía de gas, cromatografía de gas acoplada a espectrometría de masa, (fragmentogramas  $m/z$  / 191,  $m/z$  /177 y  $m/z$  /218) y composición isotópica de carbono del petróleo. Este estudio ha permitido demostrar que la mayoría de los petróleos biodegradados cubanos no sobrepasan el nivel entre moderado y ligero (escala 2-5 de Peters y Moldowan).



## **INTERPRETACIÓN CON MÉTODOS POTENCIALES PARA DETERMINAR LA CIMA DEL BASAMENTO MAGNÉTICO Y TIPOS DE CORTEZA EN EL GOLFO DE MÉXICO.**

Leopoldo Hernández Ávila(1)  
(1) Instituto Mexicano del Petróleo

La delimitación de la profundidad del basamento magnético constó de dos etapas principales de interpretación: una cualitativa y la otra cuantitativa.

En la primera etapa, para tener una visión regional del comportamiento del basamento magnético la información de Intensidad Magnética Total fue procesada por Reducción al Polo, Gradiente Horizontal, Gradiente Total, Segunda Derivada Vertical y Filtro Paso de Banda para resaltar eventos, y asimismo se analizó el Mapa de Gravimetría Satelital.

Esto permitió marcar los principales lineamientos relacionados a cambios o contrastes de anomalías magnéticas y asociarlos a variaciones en el basamento, así como rasgos dentro de la Corteza, ya sea que nos estén indicando cambios en la forma o dirección de las anomalías que son indicios de cambios en la Corteza Terrestre.

En la interpretación cuantitativa, primero se determinó la cima del manto bajo la consideración del modelo isostático de Airy-Heiskanen, que describe los continentes flotando sobre un material de mayor densidad, la corteza sobre el manto respectivamente, manejando una densidad promedio de 3.27 gr/cm<sup>3</sup> para el manto y de 2.67 gr./cm<sup>3</sup> así como 30 km de espesor para la corteza, tomando en cuenta además la batimetría presente. Después, para la obtención de la cima del basamento se elaboraron 63 modelos magnéticos en 2-D; considerando 4 capas. A las del agua, la columna sedimentaria y el manto se les asignó una densidad promedio de 1.03, 2.55, y 3.27 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente.

En la capa del basamento se definieron varios bloques con diferente susceptibilidad y diferente densidad promedio.

La cima del Basamento Magnético se configuró tomando en cuenta todas las líneas magnéticas modeladas y los pozos presentes que tocaron basamento, considerándose un intervalo de malla de 6000 metros y un intervalo de configuración de 400 metros, se tienen profundidades que van de 1800 a 15000 mbnm.

Esta configuración se considera de carácter regional ya que las secciones interpretadas se encuentran con una separación entre ellas de 20 a 40 kilómetros.

La variabilidad lateral de densidad y susceptibilidad obtenidas en el basamento se asoció a la definición de diferentes tipos de basamento y por tanto a la caracterización de los diferentes tipos de corteza (oceánica o básica, transicional y/o continental o ácida) en el Golfo de México.

Los procesos aplicados junto con lo observado en los modelos magnéticos así como la configuración final del basamento fueron la base para definir los diferentes tipos de corteza presentes en el Golfo de México.



## **ESTUDIOS DE AFECTACIÓN POR BIODEGRADACIÓN DE MANIFESTACIONES SUPERFICIALES DE PETRÓLEO EN CUBA**

J. O. López Quintero (1)\*, J. V. P. Guzzo(2), J. G. López Rivera(1), O. Pascual Fernández (1), O. Delgado López (1)

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) Washington No. 169, Cerro, La Habana 12000, Cuba, E-mail: [jorlando@ceinpet.cupet.cu](mailto:jorlando@ceinpet.cupet.cu)

(2) Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES). Cidade Universitaria Q.7, Ilha do Fundao, 21949-900, Rio de Janeiro, Brasil, E-mail: [guzzo@cenpes.petrobras.com.br](mailto:guzzo@cenpes.petrobras.com.br)

El estudio de 20 muestras de petróleos biodegradados o “asfaltitas” tomados de manifestaciones superficiales en Cuba permitió establecer su correlación con las tres familias genéticas de petróleos cubanos. A partir de la secuencia típica de afectación de los hidrocarburos por la acción bacteriana, del análisis de las asfaltitas analizadas en el presente trabajo, fue posible reconocer el espectro de modificaciones promovidas por la biodegradación.

La metodología aplicada permitió correlacionar las “asfaltitas” estudiadas con los petróleos de las familias descubiertas en Cuba de la siguiente manera: a la familia I se correspondieron las muestras de Quiñones 1, 2 y 3, Sábalo, La Coronela, Presa La Coronela y Bejucal. A la familia II se correspondieron las muestras de Cacarájicara, Soroa y P. Girón. Finalmente a la familia III se correspondió la muestra de Las Bateas y La Palmita.



## GEOQUÍMICA DE LOS SISTEMAS PETROLEROS PRESENTES EN CUBA INSULAR Y SU POSIBLE RELACIÓN CON LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA DE CUBA EN EL GOLFO DE MÉXICO.

**Orelvis Delgado López, Olga Pascual Fernández, Juan Guillermo López Rivera y José Orlando López Quintero.**

*Centro de Investigaciones del Petróleo, calle Washington N0.169 esquina a Churruga, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. ZIP 12 000, E-mail: orelvis@ceinpet.cupet.cu*

### RESUMEN

Este trabajo expone los resultados de los estudios geoquímicos realizados en Cuba, siguiendo el método de los sistemas petroleros. Estos incluyen: petróleos, rocas madre, gradientes geotérmicos, maduración, correlaciones geoquímicas y análisis de los sistemas petroleros.

Se apoya en estudios de biomarcadores y propiedades físico-químicas de los petróleos. Caracterización de las rocas madre mediante Rock Eval y para la maduración diferentes parámetros geoquímicos: temperatura máxima, reflectancia de la vitrinita e índice de coloración de esporas. Se utilizan las investigaciones de gradientes geotérmicos realizadas en la década del 70. Para establecer las correlaciones geoquímicas, se utilizaron los datos de extractos obtenidos tanto en pozos como en superficie.

El desarrollo de esta investigación permitió llegar a las siguientes conclusiones:

1. La existencia de determinado tipo genético de petróleo en un área, indica la presencia de sedimentos con características sedimentológicas y orgánicas específicas.
2. La zona norte de la provincia Las Tunas constituye un área de interés para la exploración petrolera.
3. La gran mayoría de las rocas madre de Cuba tienen más de un tipo de materia orgánica.
4. Las rocas madre del intervalo  $J_3^{km} - K_1^{ne}$  de las UTEs Placetas y Camajuaní generan crudos de la Familia I en la región Habana- Matanzas y de la Familia II en Cuba Central debido a variaciones faciales de Oeste a Este.
5. La tendencia regional del gradiente geotérmico es a incrementarse hacia el Sur.
6. Las tendencias de la maduración en Cuba Occidental es incrementarse hacia el Oeste, Este y Sur del Área de Boca de Jaruco.
7. En Cuba existen 3 sistemas petroleros:  $J_3/K_1$ -Grupo Veloz (!); Carmita-Ofiolitas (!) y Polier-Polier (!).
8. Existen datos que indican una posible extensión del sistema  $J_3/K_1$ -Grupo Veloz (!) hacia la ZEE.

### ABSTRACT

This work exposes the results of the geochemical studies carried out in Cuba, following the petroleum systems method. These include: petroleum, source rocks, geothermal gradients, maturation, geochemical correlations and analysis of petroleum systems.

It leans on biomarkers studies and petroleum's physique - chemical propriety. Characterization of source rocks by Rock Eval and for maturation different geochemical parameters: maximum temperature, vitrinite reflectance and spores coloration index. The investigations of geothermal gradients carried out in the decade of the 70 are used to. To establish the geochemical correlations, the data of extracts were used as much in wells as in surface.

The development of this investigation allowed arrives to the following conclusions:

1. The existence of certain genetic type of petroleum in an area indicates the presence of sediments with specific sedimentological and organic characteristic.
2. The northern of Las Tunas province constitute an area of interest for the petroleum exploration.





3. The great majority of Cuban source rocks has more than one type of organic matter.
4. The  $J_3^{km} - K_1^{ne}$  intervals source rock of Placetas and Camajuaní TSU, source Family I crude in Havana- Matanzas region and Family II crude in Central Cuba region because facies variation from west to east.
5. The regional geothermal gradient trend is to be increased toward the South.
6. The maturation trends in Western Cuba are to be increased toward the West, East and South of the Boca de Jaruco Area.
7. In Cuba exist 3 petroleum systems:  $J_3/K_1^{ne}$ -Grupo Veloz (!); Carmita-Ofiolitas (!) y Polier - Polier (!).
8. Some data indicate a possible extension of the  $J_3/K_1^{ne}$  - Grupo Veloz (!) petroleum system toward the ZEE.

## INTRODUCCIÓN.

En las últimas décadas en la exploración petrolera ha tomado una vital importancia la aplicación del método de los Sistemas Petroleros, en el cual el hidrocarburo es considerado el elemento más importante a diferencia de otras técnicas exploratorias donde la identificación del reservorio y las trampas dominan el proceso. Esta prioridad viene dada por la clasificación genética del crudo, ya que como regla general para cada tipo genético de petróleo debe caracterizarse al menos un sistema petrolero. Es importante tener cuidado en casos de que existan variaciones de facies dentro de las rocas madre o si ocurren mezclas de diferentes crudos.

En este trabajo se exponen los resultados alcanzados en los estudios geoquímicos realizados en los últimos años en Cuba, siguiendo el método exploratorio de los sistemas petroleros. Estos estudios incluyen: petróleos, rocas madre, correlaciones geoquímicas, gradientes geotérmicos, maduración y se concluye estableciendo los límites y extensión estratigráfica de los sistemas petroleros a lo largo del territorio nacional.

El objetivo fundamental de la presente investigación fue "Actualizar los criterios geoquímicos para la evaluación del potencial de hidrocarburos y el análisis de los sistemas petroleros presentes en Cuba". Con la presente investigación se pretende dar respuesta a las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la pertenencia genética de las manifestaciones de hidrocarburos muestreadas en los últimos años, así como reanalizar, con nuevos criterios, otras ya estudiadas.
- ¿Cuántos sistemas petroleros existen en Cuba y cuáles son sus límites geográficos.
- ¿Por qué, si las rocas madre de Cuba tienen kerógenos tipo II, las relaciones de biomarcadores de los esteranos indican que los hidrocarburos cubanos fueron generados a partir de una mezcla de materias orgánicas.
- ¿Existe más de un tipo de kerógeno en las rocas madre de Cuba.
- ¿Qué tipo genético de petróleo genera cada una de las rocas madre de Cuba.
- ¿Cuáles son las tendencias de los gradientes geotérmicos en Cuba.
- ¿Cuáles son las tendencias de la maduración en Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se apoya en estudios de biomarcadores y de propiedades físico- químicas realizadas a muestras de petróleo tomadas a lo largo de todo el territorio nacional, tanto en superficie como en el subsuelo. Los biomarcadores permiten clasificar genéticamente a las manifestaciones estudiadas y establecer familias o grupos; en este trabajo se toma de base la clasificación establecida en López et al 2001, la cual agrupa los crudos cubanos en tres familias genéticas:



**Familia I:** Petróleos originados a partir de materia orgánica tipo II, IIs, con determinado componente algal; depositada en ambiente marino carbonático algo siliciclástico muy anóxico.

**Familia II:** Petróleos originados a partir de materia orgánica tipo II, depositada en ambiente marino carbonático anóxico.

**Familia III:** Petróleos originados a partir de materia orgánica tipo II (II-III), depositada en ambiente marino siliciclástico subanóxico a subóxico.

Para caracterizar las rocas madre se utilizó las técnicas de pirólisis Rock Eval y para el análisis de la maduración se utilizaron diferentes parámetros geoquímicos tales como: temperatura máxima (Tmax) obtenida por Rock Eval; refractancia de la vitrinita (Ro) e índice de coloración de esporas (ICE), obtenidos por métodos de microscopía óptica. Para tomar todas las muestras de petróleo y rocas contenidas en este trabajo se realizaron varias campañas de campo. Para establecer las correlaciones geoquímicas se utilizaron los datos de biomarcadores de los extractos de petróleo obtenidos en formaciones con propiedades de rocas madre, tanto en pozos como a partir de muestras de superficie.

Por último se utilizan los resultados de las investigaciones de gradientes geotérmicos realizados por especialistas rusos y cubanos en la década del 70, así como los datos de este parámetro medidos en pozos petroleros perforados en años recientes.

## RESULTADOS

Los estudios de biomarcadores realizados permitieron clasificar la gran mayoría de las manifestaciones de petróleo muestreadas, en las 3 familias genéticas de crudos cubanos (Figura 2); hasta el momento sólo 2 casos no han podido ser clasificadas debido al elevado nivel de alteración secundaria (biodegradación y escape de fracciones ligeras) que han sufrido. Por otra parte sugieren la presencia de mezclas de petróleos de diferentes familias genéticas; hecho que es primera vez que se determina en Cuba. Es importante señalar que sólo fueron tres muestras, todas vinculadas a ligeras impregnaciones en rocas; 2 de ellas correspondientes muestras de superficie que sugieren mezclas entre las familias I y II (muestras: W de Sabanilla y El Sábalo Artemisa) ambas en Sierra del Rosario. El tercer caso, es una ligera impregnación de petróleo detectada a simple vista en un núcleo del pozo Camaguey 1 encontrado en el almacén de núcleos del CEINPET (Caribe). La muestra pertenece al laboratorio de petrofísica y según sus datos corresponde al intervalo 2136-2140 metros atribuidos a la Fm. Purio; esta manifestación indica una mezcla entre petróleos de las familias I y III (Tabla I).

Particular importancia tiene la muestra tomada en la localidad de Los Pedernales, localizada en la finca del mismo nombre perteneciente al municipio de Amancio Rodríguez, provincia de Las Tunas. Esta manifestación constituye la evidencia de petróleo más sureña que se conoce en Cuba en estos momentos. Los petróleos estudiados a partir de manifestaciones someras (superficie y pozos criollos) en las áreas de los bloques 17 y 18 muestran muy bajos contenidos de azufre (entre 1.24 y 2.14) y altos porcentos de compuestos saturados y aromáticos en relación con las resinas y asfaltenos a pesar de exhibir los mayores niveles de biodegradación determinados en Cuba hasta la fecha. La manifestación "Los Pedernales" sugiere que los petróleos de la zona oriental son muy maduros sobre la base de los valores de los isómeros del C<sub>29</sub> esteranos similares a los determinados en los crudos de Pina y Brujos (entre los más altos del país) nunca antes determinados en los hidrocarburos de la zona oriental debido a la afectación que presentan todas estas muestras por biodegradación.

El estudio de los procesos que determinan la calidad comercial de los crudos cubanos, reveló que la maduración es el principal proceso que influye en esta importante propiedad pues en



todas las áreas donde los petróleos exhiben altos niveles de madurez la calidad de los mismos es buena independientemente de a que familia pertenezca. Por otra parte se determinó que la calidad comercial de los petróleos cubanos aumenta en la dirección Familia I – Familia II – Familia III.

Las correlaciones petróleo- rocas madre muestran que los sedimentos generadores comprendidos en el intervalo estratigráfico  $J_3^{km}$ -  $K_1^{ne}$  de las UTEs Placetas y Camajuaní generan crudos de la Familia I en la región Habana- Matanzas y de la Familia II en Cuba Central debido a variaciones faciales de Oeste a Este en estos sedimentos. Por otra parte que las formaciones Polier y Carmita generan petróleos de la Familia III (Figura 3).

La caracterización de las rocas madre, reflejan un aumento de material terrestre en los kerógeno de los sedimentos más antiguos (Jurásicos pre Kimmeridgiano) y en las formaciones de la parte más occidental de Cuba; mientras que en las formaciones de la región centro-oriental se manifiesta la presencia de kerógenos tipo I, indicando una riqueza orgánica superior a la tratada hasta el momento para estos sedimentos, además en esta área se reporta materia orgánica de tipo IIs (Figura 4). De forma general para ambas áreas existe un predominio de materia orgánica marina, aunque es de destacar el hecho de que en una misma formación existan hasta tres tipos diferentes de kerógenos lo cual es consecuencia de sus condiciones de sedimentación.

Con los datos de los gradientes geotérmicos medidos en la década del 70 y los de las mediciones realizadas en pozos más recientes fue posible establecer las tendencias regionales de este importante parámetro. Para toda Cuba existe una tendencia de incrementarse de norte a sur (Figura 5) y los comportamientos regionales son:

- Cuba Occidental: Incremento hacia el Sur, Este y Oeste del área de Mariel, como excepción encontramos el máximo local del área Camarioca.
- Cuba Central: Incremento hacia el Sur y Este del área de Guayabo, como excepción encontramos el máximo local del área Jatibonico.
- Cuba Oriental: Incremento de Norte a Sur.

El estudio de la maduración se realizó a través de varios parámetros geoquímicos como se señaló anteriormente. Desafortunadamente la gran mayoría de los datos se encuentran en la región occidental y solo fue posible establecer sus tendencias en esta área. Como resultado se determinó que la maduración en Cuba Occidental se incrementa hacia el Oeste, Este y Sur del área de Boca de Jaruco (Figura 6).

## DISCUSIÓN

Basados en los resultados de las correlaciones petróleo- petróleo (clasificación genética) y petróleo- rocas madre puede plantarse que los petróleos de las familias I y II pertenecen a un mismo sistema petrolero, cuyo nombre es  $J_3 / K_1^{ne}$  – Grupo Veloz (!) y que en Cuba existen 3 sistemas petroleros: el mencionado anteriormente y otros dos vinculados a la Familia III, sistema petrolero Carmita – Ofiolitas (!) presente en Cuba Centro – Oriental y sistema Polier- Polier (!) presente en Cuba Occidental.

La manifestación de Los Pedernales demuestra la presencia de los sedimentos del margen continental, con propiedades de rocas madre, hasta esas latitudes. Esta muestra clasifica en la Familia III de crudos cubanos, y confirma la continuidad del sistema petrolero Carmita- Ofiolitas



(!) desde el yacimiento Cristales (al Oeste) hasta el área de Maniabón- La Palmita (al Este) (Figura 1).

En estos momentos en el sector de los bloques 17, 18 y 22 existe un área de 9078 Km<sup>2</sup> con buenas perspectivas para la exploración (Figura 7) sobre la base de las características de los petróleos estudiados (alto nivel de madurez, y porcentos de compuestos saturados y aromáticos, así como bajos contenidos de azufre). Los posibles yacimientos a encontrar en esta área serían tipo Cantel- Motembo o tipo Cristales.

Los resultados alcanzados en el estudio detallado del tipo de kerógeno que tiene cada una de las rocas madre de Cuba; ayudan a explicar porque los biomarcadores de todos los petróleos estudiados hasta la fecha, indican origen a partir de una mezcla de materias orgánicas.

La integración de los resultados de las investigaciones de temperatura realizadas en la década del 70 con los obtenidos en este trabajo sobre la maduración, muestran una correspondencia en la tendencia de ambos parámetros en Cuba Occidental (Figuras 5 y 6). El hecho de lograr demostrar la relación directa que existe entre las tendencias de los gradientes geotérmicos y la maduración en un área extensa comprendida entre la Ciénaga de Majaguillar al Este y hasta Los Arroyos al Oeste, permite utilizar cualquiera de los dos parámetros en ausencia de datos en determinadas áreas.

En el caso del sistema petrolero  $J_3 / K_1^{ne}$  – Grupo Veloz (!) existen datos que indican una posible continuidad de este sistema hacia la ZEE (Figura 8). Recientemente, año 2002, Caroline Magnior y otros establecieron una correlación entre la impregnación de petróleo encontrada el núcleo 58 del Pozo Site 535 (datos publicados por Palacas J. G. y otros, 1984); y el petróleo del Pozo Marbella Mar 2 entrampado a 2600 m en la Formación Vega, analizado en el IFP. Esta correlación se estableció a partir del fragmentograma m/z 191. Los autores de este trabajo plantean una buena correlación entre estas muestras, que indica que ambos tienen un origen semejante.

## CONCLUSIONES.

1. La existencia de determinado tipo genético de petróleo en un área, indica la presencia de sedimentos con características sedimentológicas y orgánicas específicas.
2. La zona norte de la provincia Las Tunas constituye un área de interés para la exploración petrolera.
3. La gran mayoría de las rocas madre de Cuba tienen más de un tipo de materia orgánica.
4. Las rocas madre del intervalo  $J_3^{km} - K_1^{ne}$  de las UTEs Placetás y Camajuaní generan crudos de la Familia I en la región Habana- Matanzas y de la Familia II en Cuba Central debido a variaciones faciales de Oeste a Este.
5. La tendencia regional del gradiente geotérmico es a incrementarse hacia el Sur.
6. Las tendencias de la maduración en Cuba Occidental es incrementarse hacia el Oeste, Este y Sur del Área de Boca de Jaruco.
7. En Cuba existen 3 sistemas petroleros:  $J_3/K_1$ -Grupo Veloz (!); Carmita-Ofiolitas (!) y Polier-Polier (!).
8. Existen datos que indican una posible extensión del sistema  $J_3/K_1$ -Grupo Veloz (!) hacia la ZEE.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Bordenave, M.L. (1993): Applied petroleum Geochemistry.



2. Buffer, R.T., D. Angstandt and R. Phair. (1983): Geologic History of the Southeastern Gulf of Mexico. University of Miami, Miami, Florida.
3. Cermak, V., M. Krest y otros (1984): Mediciones profundas de temperatura en Cuba Occidental y Central. Serie Geológica 2.
4. Iturralde, M.A. (1998): Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica. V.33 N0 1-4, p 9 – 56.
5. Kenneth E. P., J. M. Moldowan (1993): The Biomarker Guide. Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient sediments\*.
6. Kohnen, M.E.L. et all (1993): Sulfur – Boun Steroid and phytane carbon Skeletons in Geomacromolecular Implications for the mecanism of incorporation of sulphur into Organic matter. Geochimia et Cosmochimia Acta, Vol 57 p 2515 – 2528.
7. Linares, E. y otros. (2002): Guía Práctica de Localidades de Interés Gasopetrolífero\*.
8. Pascual, O. y otros (2001): Actualización del Potencial de Hidrocarburos de la República de Cuba. Para el período 1998 – 2002. Etapa 2.6 Calidad de los petróleos en los yacimientos cubanos\*.

Tabla I. Pertenencia genética y relaciones de biomarcadores de las muestras con características de mezclas entre petróleos de familias diferentes.

Pozo	Bloque	Tipo muestra	Familia	Pr/Ph	Ind. Gammac.	H29/H30	H35/H34	Ind.Diast.	26/25Tric	TET/26tric	21+22/Est. Reg
B. Jaruco 256	7	pozo productor	I	1,02	0,41	0,71	1,11	0,26	0,72	1,19	0,11
Varadero 306	X 9	pozo productor	I	1,04	0,51	0,70	1,19	0,22	0,68	1,32	0,14
Brujo 1	21	pozo productor	II	1,10	0,07	1,62	1,12	0,66	0,77	4,36	0,29
Pina 28	21	pozo productor	II	1,26	0,10	1,49	1,69	0,65	0,76	3,87	0,27
Martín Mesa 7	6	pozo productor	III	2,56	0,10	0,62	0,77	1,24	1,04	1,41	0,07
Cantel 2000	X 9	pozo productor	III	-	0,03	0,54	0,66	0,92	0,90	1,23	0,06
W de Sabanilla	4	roca impregnada	I - II	0,80	0,25	1,17	1,19	0,25	0,67	3,43	0,22
El Sabalo (Artemisa)	6	roca impregnada	I - II	0,65	0,58	1,50	0,79	0,41	0,67	5,78	0,42
Camaguey 1	15	pozo	I - III	0,60	0,10	0,74	0,83	0,17	0,77	5,11	0,10

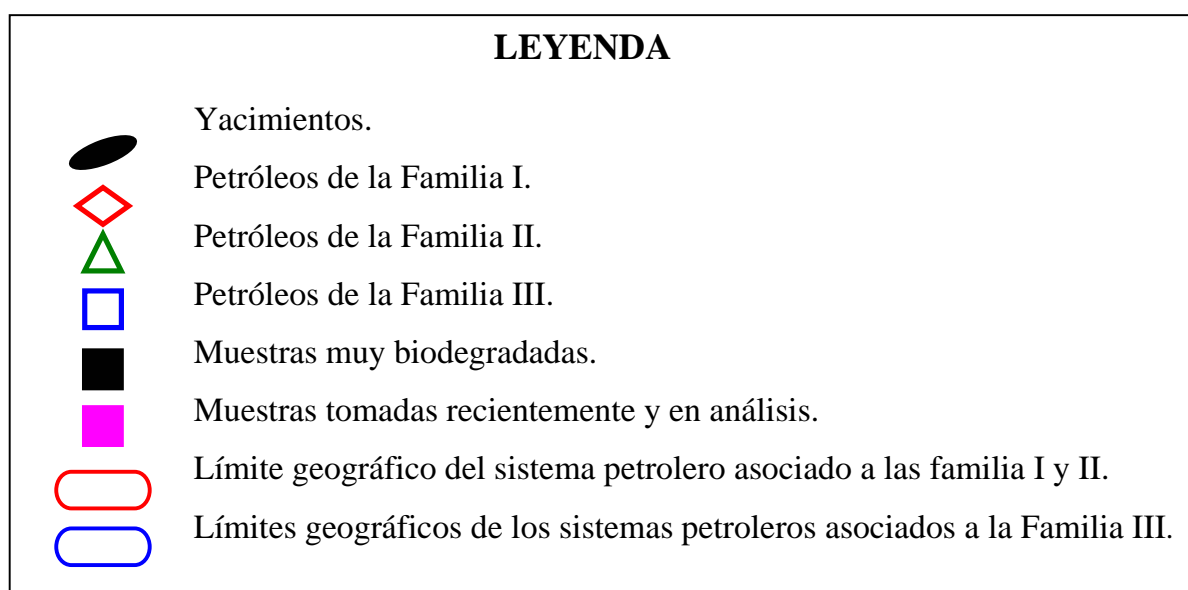


Figura 1. Leyenda utilizada en los mapas.



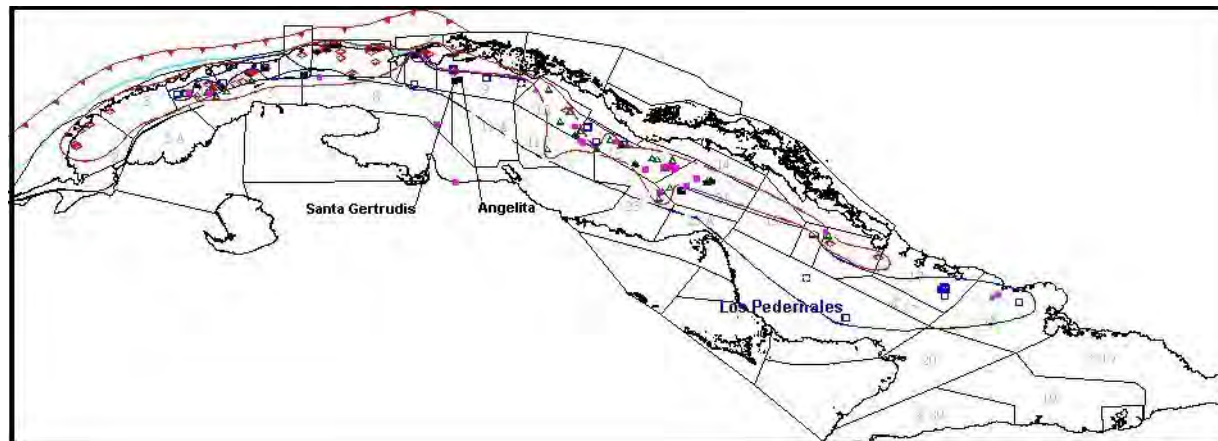


Figura 2. Distribución de las familias de crudos cubanos y límite geográfico de los sistemas petroleros presentes en Cuba.

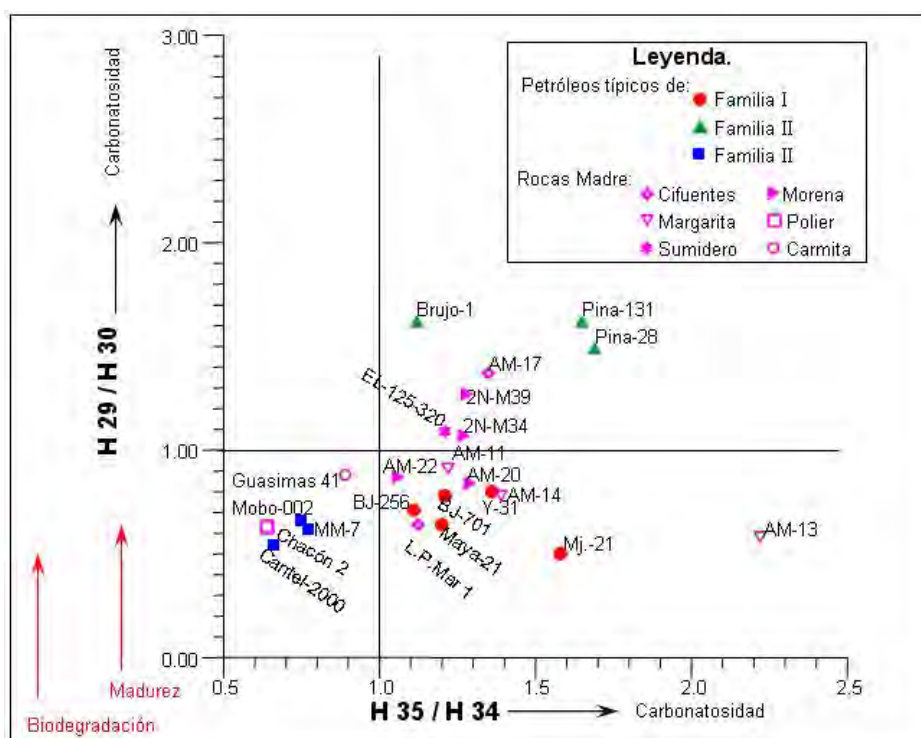


Figura 3. Relaciones de biomarcadores de los hopanos, mostrando los



tipos genéticos de petróleo que generan las rocas madre de Cuba.

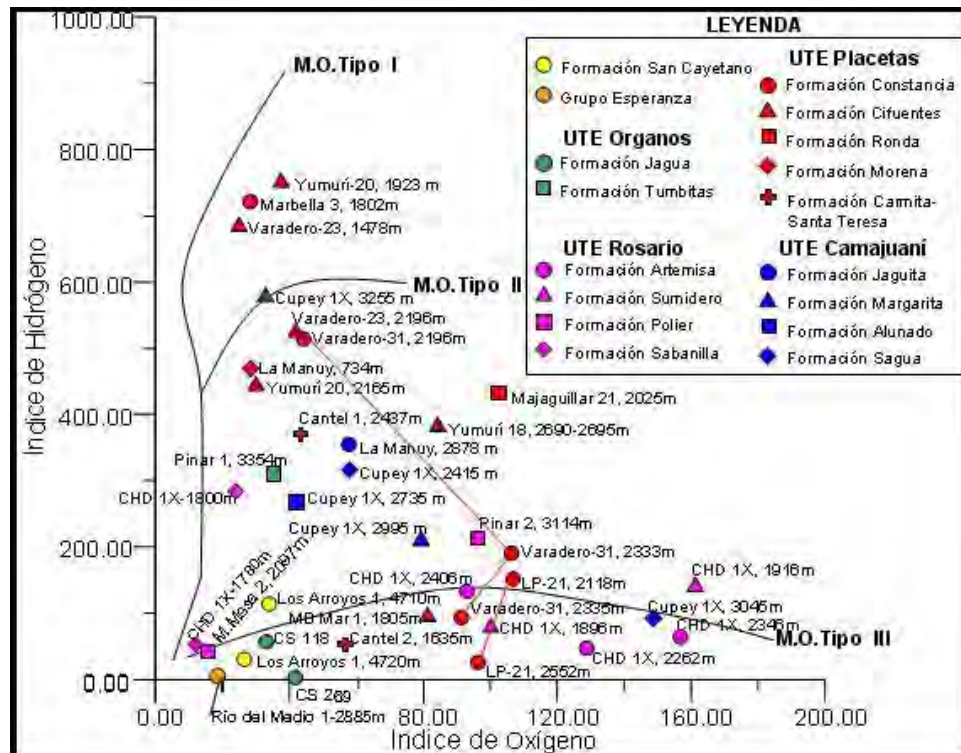


Figura 4. Diagrama Van Krevelen, mostrando los diferentes tipos de kerógenos presentes en las rocas madre de Cuba.

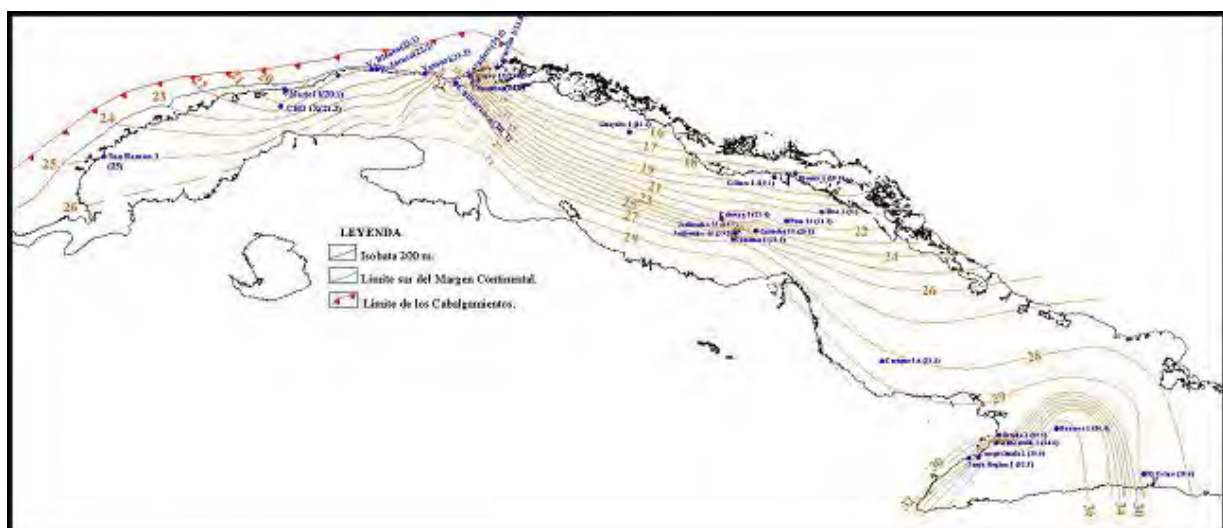
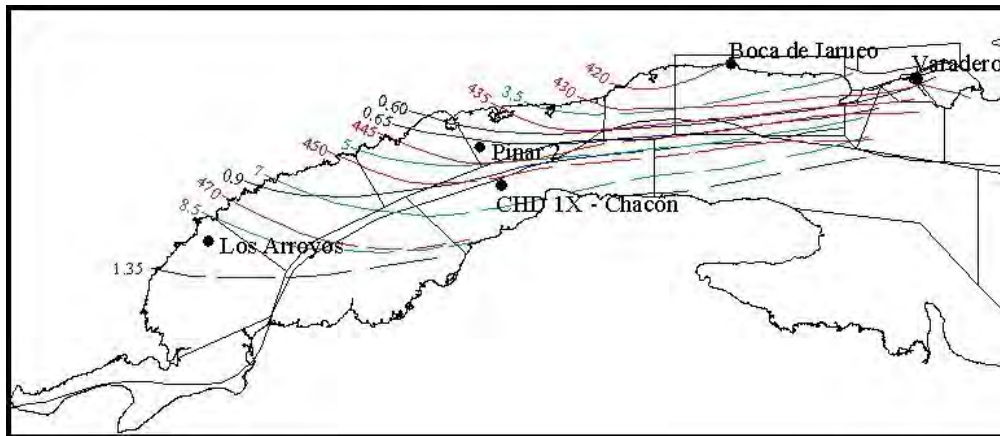


Figura 5. Tendencias de los gradientes geotérmicos en Cuba.



The map shows the north-eastern part of Cuba, with the provinces of Camagüey, Las Tunas, and Ciego de Avila. A red rectangle outlines the study area, which is 204 Km long and 44.5 Km wide. Key locations marked include Camagüey, San Carlos, Mariabon 6, La Angula, Arroyo, La Palma, Floro Pérez, Las Tunas, Los Pedernales, and Holguín.

*PRIMERA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2005. Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.*

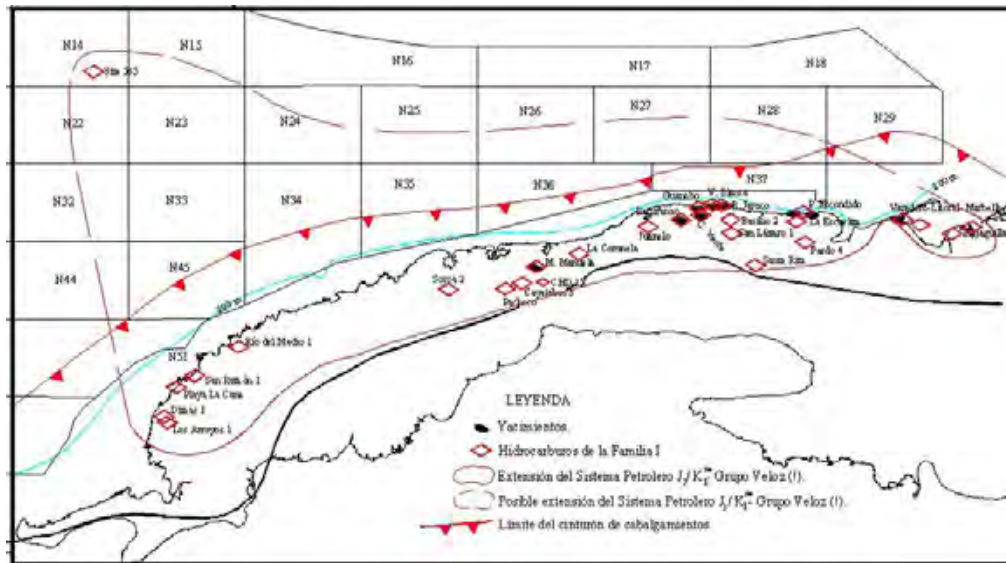


Figura 8. Posible extensión del sistema petrolero  $J_3 / K_1^{ne}$  – Grupo Veloz (!) hacia la ZEE.



## **LA INTEGRACIÓN GEOLÓGICA Y GEOQUÍMICA, Y MODELADO NUMÉRICO DE SISTEMAS PETROLEROS PARA LA PROSPECCIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS PETROLERO EN LA SONDA DE CAMPECHE Y EN AGUAS PROFUNDAS DEL GOLFO DE MÉXICO**

Salvador Ortuño Arzate\*, Cuauhtémoc Romero Moguel\*, Joel Rosales Rodríguez\*, Esteban Soriano Mercado\*\* y Edgar Bahena Román\*

\*Instituto Mexicano del Petróleo

Eje Central Lázaro Cárdenas no. 152, México D. F.

\*\*Petróleos Mexicanos, Exploración y Producción, Región Marina Noreste, Cd. del Carmen, Camp., México.

### **RESUMEN**

El objetivo fundamental de este estudio ha sido elaborar el modelado numérico de generación y migración de hidrocarburos en el área de Kayab, así como la identificación de los elementos y procesos de los sistemas petroleros existentes, utilizando el programa Temispack 3D, desarrollado por el Instituto Francés del Petróleo.

En la región de Kayab, que se encuentra en la parte meridional del Golfo de México y que representa la entrada de la exploración petrolera hacia las aguas profundas, se ha realizado la integración de un modelo geológico de base, y sobre éste, la elaboración del modelo numérico de la evolución de la cuenca y de sistemas petroleros, incluyendo la historia térmica, de subsidencia y de maduración del kerógeno. Todo lo anterior, con la finalidad de conocer los sistemas petroleros activos y acercarse a la definición de las oportunidades económico – petroleras y prospectos del área de Kayab.

Los principales resultados geológicos y petroleros del estudio de modelado numérico son: la identificación de elementos y procesos de los sistemas petroleros existentes y activos en la región de Kayab, particularmente la definición de las áreas de adecuada madurez térmica del kerógeno. Destacan en este estudio las subcuencas de la porción suroeste como áreas que han alcanzado la madurez adecuada del kerógeno para la generación y expulsión. Los parámetros principales estimados corresponden a las temperaturas máximas de pirólisis ( $T_{máx}$ ), las relaciones de transformación (RT), las saturaciones, los parámetros de reflectancia de vitrinita, etc. Los índices de madurez se ubican en la ventana de generación del petróleo ( $R_o$  de 0.5 a 1.0 y  $T_{máx}$  de 430 a 490 °C). Han sido identificados los elementos de los sistemas petroleros (rocas generadoras, almacén, trampa – sello) y procesos adecuados para la existencia de yacimientos, como son la generación – expulsión, migración y formación de trampas. Los parámetros de la historia térmica que han sido identificados y estimados en modelos tridimensionales son los flujos de calor, las temperaturas y los gradientes geotérmicos.

Los sistemas petroleros activos son por tanto, los del Tithoniano, del Kimmeridgiano y del Oxfordiano, los cuales han aportado la producción acumulativa hasta ahora conocida en la Sonda de Campeche. Estos sistemas petroleros comenzaron a generar y expulsar a partir del Mioceno Medio Tardío y principalmente durante el Plioceno.

Por otro lado, los resultados de la simulación numérica, así como los de carácter geoquímico analítico de laboratorio, indican que la estructura de Tunich (o noreste del área de estudio), se encontraría en etapa de inmadurez térmica; estos datos parecen concordantes con los resultados obtenidos por los pozos perforados hasta ahora en el



área mencionada. Podría ser previsible, según los resultados de la simulación, que gran parte de la porción occidental de la Plataforma de Yucatán fuera también inmadura, por encontrarse en una región hipotérmica.

Los modelos geológico - numéricos de sistemas petroleros permiten llevar a cabo la evaluación del potencial petrolero en áreas frontera, además de aportar informaciones sobre la prospectividad de las áreas en estudio. Finalmente, los resultados obtenidos durante la realización de este trabajo, pueden contribuir, de manera decisiva, al desarrollo de los estudios subsecuentes de evaluación y de incorporación de reservas, así como al abatimiento del riesgo geológico exploratorio en esta importante y prometedora región de la Sonda de Campeche y de aguas profundas del Golfo de México.

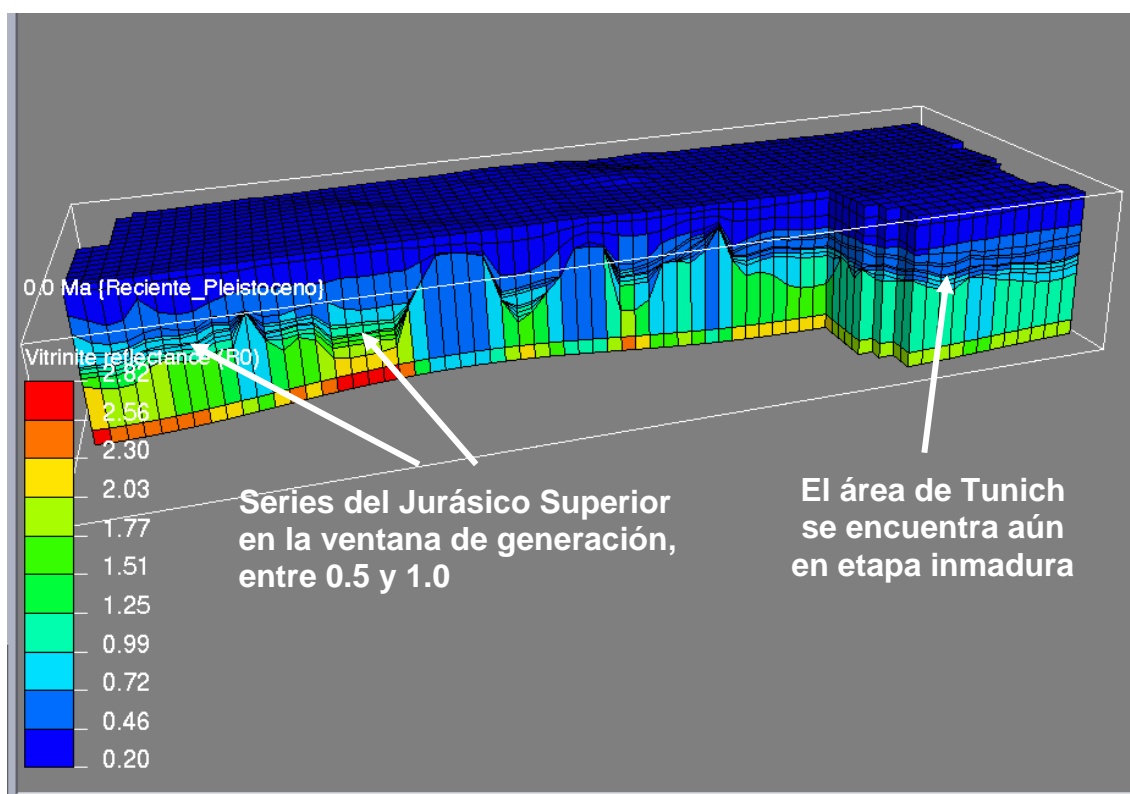


Figura 1.- Distribución de valores nominales de Reflectancia de vitrinita (Ro) a través de la serie sedimentaria del bloque 3D. Los valores nominales de Ro para la secuencia generadora del Tithoniano y Oxfordiano varían de 0.85 a más de 1.0 en las áreas de mayor subsidencia. Empero, el área de Tunich presenta valores menores, relacionados con etapas de evolución del kerógeno aún inmaduras.

**Palabras clave:** modelado numérico, simulación numérica, sistemas petroleros, madurez del kerógeno, aguas profundas, Golfo de México.



## **CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS YACIMIENTOS DE PETRÓLEO DE LA FRANJA DE CRUDOS PESADOS DE CUBA OCCIDENTAL**

Dr. Rafael Socorro Trujillo, Ing. Sofía López Acosta, Ing. Margarita Juara Zulueta, Ing. América Sorá Monroy

*CENTRO DE INVESTIGACIONES DEL PETRÓLEO. DIGICUPET, Calle 23 No.105 e/ O y P, Vedado Ciudad Habana, Habana 4 Cuba CP 10400 PHONE.8 79 2865 Fax: (537) 73 3563 Email: socorro@digicupet.cu.*

La Franja de Crudos Pesados, como se ha denominado por los geólogos cubanos, es una zona larga y estrecha que se extiende a lo largo de la costa desde las inmediaciones de la playa de Guanabo hasta la localidad de Majaguillar, cerca del poblado de Máximo Gómez, en la provincia de Matanzas.

Las producciones de los yacimientos que aquí se encuentran (Boca de Jaruco, Puerto Escondido-Canasí, Yumurí-Seboruco, Varadero), están asociadas a las rocas sinorogénicas del Terciario Temprano que cubren la unidad geológica de Placetas, dentro de ésta al Grupo Veloz ( $J_3^{kim} - K_{1ne}$ ) y son conglobrechas carbonatadas en matriz de cretas de aguas profundas con un intenso desarrollo de la fracturación, causa de las altos caudales que se presentan en los pozos.

El contorno de nuevos prospectos para la exploración petrolera en la Franja ha sido el objetivo principal de los trabajos sísmicos 2D y 3D realizados. A la vez la confección de diferentes secciones estructurales es imprescindible para la validación de los prospectos y la comprensión del estilo estructural predominante.

Teniendo en cuenta la complejidad geológica de la provincia petrolífera norte cubana se requirió de la integración de todos los datos para llegar a obtener los resultados requeridos.

El modelo conceptualizado y aplicado dentro de la interpretación sismogeológica permitió en el contexto petrolero del "offshore cubano" pronosticar la presencia de diferentes altos estructurales algunos probados y otros prospectivos para la exploración petrolera.





## GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL CON UN OBJETIVO PETROLERO.

**Ramón Cruz Toledo<sup>(1)</sup>, José Álvarez Castro<sup>(1)</sup>, Lorenza Mejías Rodríguez<sup>(1)</sup>**

Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington #169, Esq. Churruca, Cerro, Ciudad Habana, Cuba, CP 12000. E-mail: [cruz@ceinpet.cupet.cu](mailto:cruz@ceinpet.cupet.cu).

### RESUMEN

Con un análisis geomorfológico, utilizando solamente el elemento cualitativo del drenaje se pudieron definir los lineamientos fundamentales, en la dirección NE con rumbo deslizante de tipo sinistral responsable de las posibles vías de migración y otros en la dirección NW relacionado con la falla de las Villas, lo cual puede responder a trampas estructurales, se pudo diferenciar áreas levantadas desde la cuenca central conocidas desde el punto de vista petrolero, donde el drenaje tiene una expresión radial, propia de domos volcánicos y en la dirección NW hacia el bloque 13, las combinaciones de la divisoria de las aguas y el drenaje corrobora esta. Esta información obtenida a partir del análisis de la red de drenaje: lineamientos de dirección NW, NE y zona levantadas son combinaciones que desde el punto de vista geomorfológico orientan para la búsqueda de petróleo en Cuba.

### ABSTRACT

With geomorphological analysis using only the qualitative element of drainage, could be defined the fundamental linings in NE direction, with slip strike of sinistral type, responsible for the possible migration ways and others in NW direction, related to Las Villas fault, which can response to structural traps, it could be differentiated lifted areas from the well-known central basin from the oil point of view, where drainage has radial expression, characteristic of volcanic domes, and in NW direction toward block 13, the combinations of water divisory, drainage corroborates this. This information obtained starting from the analysis of the drainage net: linings of NW, NE directions and lifted zones, are combinations that guide the search of oil in Cuba from the geomorphological point of view.

### INTRODUCCIÓN

En nuestro país la aplicación de los métodos geomorfológicos desde el punto de vista de la búsqueda de petróleo, se llevó a cabo por primera vez en el año 1975, cuando estuvo en Cuba el Grupo de Generalización Científica de la URSS, bajo la dirección del doctor en Ciencias Shein V., desde entonces, se han realizado diferentes aportes al conocimiento Geomorfológico.

En 1988 el trabajo (Aplicación de los Métodos Geológicos para la búsqueda de petróleo en un área del sector noroccidental de la provincia de Matanzas), realizado por Ramón Cruz y otros, se destacaron resultados interesantes a partir de la interpretación cartográfica, trabajo de campo y red de drenaje en la escala 10000. Desde 1995, en el proyecto 2132 de José Álvarez Castro y otros, se materializa la aplicación de los métodos geomorfológicos en una escala 250000 para prácticamente cubrir todo el territorio nacional, donde los sistemas de drenaje fueron determinantes para la interpretación.

El área de estudio se ubica en la parte occidental de norte a sur por las coordenadas Lambert: Norte X: 650000, Y: 289999 Sur: X: 650000, Y: 220000 y por la parte oriental las coordenadas Norte X: 759999, Y: 289999 Sur X: 759999, Y: 220000, comprendida dentro de las provincias



Ciego de Avila, Villa Clara y Santi Spíritu, Aproximadamente desde los pueblos Yaguajay – Santi Spíritus hasta Morón – Ciego de Avila, con un área total de 2984 Km<sup>2</sup>. (Figura I).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales primarios para este tipo de trabajo son las hojas topográficas escala 1:250000 y 1:10000, ICGC, 1978, donde por medio de la interpretación cartográfica, representada por isolineas (curvas de nivel), se determinan todas las vías por donde pueda desarrollarse el drenaje en un sentido exquisito (alta densidad) realizando trazos a través de las inflexiones de las curvas, que se orientan de manera natural, hacia la divisoria de las aguas, así como el mapa geológico digital de Infopet, Ceinpet (Fig II) obtenido del Mapa Geológico original, IGP 1:250000, de la Republica de Cuba.

El estudio de la configuración de la red fluvial es el principio metodológico mediante el cual se realiza el análisis por las formas que este adopta en determinadas condiciones geológicas y geográficas. El estudio de relieve (En su concepto más amplio) de relación Estructura-Litología-Tectónica; es el principio de interpretación. El drenaje orienta y posibilita la confección de mapas de tectoalineamientos con rosas de diagrama. Estos esquemas (Fig.III y V) posibilitan determinar las zonas más favorables para la búsqueda de petróleo, los lineamientos relacionados con vías de migración y las trampas estructurales. Esta metodología aplicada desde 1998, en los trabajos dirigidos por José Álvarez, en la "Evaluación de Lead para la exploración de los bloques 6, 7, 9 y 10", en la determinación de las anomalías geomorfológicas han sido corroborada casi en su totalidad por la Geofísica aplicada.

## RESULTADOS

Este trabajo geomorfológico realizado en el área del bloque central, utilizando solamente los elementos del drenaje, es para demostrar la importancia que reviste este tipo de investigación de muy poco costo y alto grado de información, para la búsqueda de objetivos petroleros. En la elaboración del trabajo, el sistema de drenaje se expresa en la escala 1:10000 y 1:250000 (Fig.III y V), idem a la de los mapas topográficos que dieron origen al esquema. Sobre la base de la interpretación de los patrones del drenaje en su configuración se pudo hacer una regionalización morfotectónica, donde se observa en primer lugar: (Área I), a cual se identifica por un lineamiento de dirección NE con un rango de 45 grados, (Fig. IV) que se extiende desde la presa Zaza, las lagunas Lebrige y de la Leche, domos salinos. ( Fig.I).

Este lineamiento longitudinal limita por su parte más meridional y septentrional el área de la cuenca central de conocido potencial petrolero, ubicada en la misma dirección estructural. Se observa además que este elemento tectónico presenta un sentido sinistral demostrado a partir de las observaciones de la morfología de la costa, incluso en los desplazamientos de la geología de superficie en su parte más oriental. Las rocas postorogénicas y sinorogénicas que se relacionan en esta área donde se encuentra la cuenca mezocenoica, tipo Piggi Back. Aparecen otras rocas del arco volcánico, ya que dentro de esta área existen otros lineamientos en esta dirección (Fig.III) relacionados con la divisorias de las aguas (áreas más levantadas que limitan la propia cuenca). El drenaje presenta con un patrón semicircular, tipo radial, propio de zonas volcánicas (domos cónicos). Los afluentes corren hacia el norte, este y sur, todo ello truncado contra la dirección descrita. La dirección NE se relaciona con la falla de la trocha, que desde el punto de vista geomorfológico da origen a este relieve, donde determinamos esta división. Estos elementos alineados pueden ser los responsables de las posibles vías de migración y están bien delimitados. (Fig. IV y III), en esta última figura se mapearon los pozos



de Pina en la escala 1:250000, con la simbología de una estrella, esta área descrita se ejemplifica a la escala 10000 (Fig. V), donde se observa según el drenaje y su interpretación morfotectónica (Fig.VI), los posibles emplazamientos estructurales mencionados según la metodología aplicada, donde la configuración del drenaje (Fig. V) , muestra que la divisoria principal se relaciona con el área más productiva del yacimiento Pina y donde se cumplen además los parámetros de nuestra metodología. Existe otra dirección transversal (Área II) relacionada con el rumbo cubano y conocida por falla de las Villas, (Fig.IV) muestra de los cabalgamientos, originados por los esfuerzos principales que se establece en parte, en el bloque 13, en la parte centro-septentrional donde los elementos del drenaje se alinean en esta dirección NW, con un rango de  $330^{\circ}$ , (Fig. IV) como forma de mapear posibles fallas inversas. Esta área de cabalgamiento, identificada por un tipo de drenaje combinado dendrítico-paralelo, contiene una geología de rocas de las UTE Placetas y Camajuaní donde se observa una gran divisoria de las aguas en la dirección NW, en las rocas del margen continental hacia la falla la Trocha, y continúa hacia la parte central. Este complejo de lineamientos en esta dirección, tiene relación con los emplazamientos de mantos cabalgados, que en esta parte del área tiene su mejor expresión para Cuba en superficie nos orienta desde el punto de vista geomorfológico a la existencia de posibles trampas estructurales. (Fig. III), en la escala regional y Fig.V, en la escala de detalle.

Hacia el sur de esta zona (Área III) existe otro tipo de drenaje dendrítico (Fig.IV), con combinaciones de tipo circular, donde la geología es de rocas de origen volcánico y ofiolitas, esta área está limitada hacia el norte por el lineamiento transversal, conocido por la falla de las Villas y en su parte más suroriental, limitada por el lineamiento longitudinal relacionado con la falla la Trocha. Se identifican diferentes estructuras semicirculares como posibles zonas levantadas por la existencia de divisorias de las aguas de tipo secundario que pueden ser objeto de interés. Finalmente (Área IV), ubicada en la parte más septentrional, (Fig.IV) limitada hacia el sur por la divisoria de las aguas relacionada con la falla de las Villas, donde los ríos corren desde esta estructura hacia el norte con una gran importancia en la dirección NE para los ríos de menor orden. El tipo de drenaje en esta área es de patrón paralelo propio de rocas carbonatadas, enclavado en una zona que desde el punto de vista geológico es una cuenca cenozoica donde aflora en superficie las rocas del postorogénico, además aparece la UTE Remedios en los flancos de la parte más levantada. (Figura II y III).

## DISCUSION

En este trabajo se destaca el nivel de información que un elemento cualitativo-geomorfológico elaborado simplemente a partir de la carta topográfica aporta esta información valiosa desde el punto de vista estructural y tectónico, que combinado con la geología de superficie muestra que puede enriquecer, mapas geológicos, especialmente con enfoque petrolero. Existen múltiples métodos morfométricos que brindan muchos valores cuantitativos, bajo el mismo concepto de la interpretación cartográfica, hemos demostrado que el valor cualitativo del drenaje es superior para nuestra investigación en la búsqueda de petróleo. Los trabajos geomorfológicos realizados han tenido plena coincidencia con los datos geofísicos. El lineamiento longitudinal, límite de la cuenca central por su parte más occidental, constituye desde el punto de vista geomorfológico, el indicador tectónico que puede propiciar dentro de un complejo de fallas en esa dirección las posibles vías de migración desde las rocas madres. El lineamiento transversal, donde se establecen los emplazamientos de zonas cabalgadas en su mejor expresión para Cuba (Fig. III y IV), que a su vez se ejemplifican en los trabajos de detalle a la escala 10000, (Fig V y VI), permite identificar claramente las líneas del drenaje que pueden constituir las fallas inversas propias de los cabalgamientos, los lineamientos de dirección NE, (posibles vías de migración),



así como los parte agua en la dirección NW (áreas levantadas), que coinciden con la divisoria principal de las aguas en esta dirección (área más productiva), por lo que la metodología tiene una respuesta positiva.

Este desarrollo de sistemas sinestrales en la dirección NE y el sistema circular contra la falla de la trocha, muestra la zona más levantada, correspondiendo parcialmente con el yacimiento Pina (Fig III y V) y otras zonas de interés (Sosa C.et. al. 1999. "La continuación de los movimientos convergentes, en épocas posteriores al Eoceno Medio, han sido evidenciados en primer lugar por las huellas que dejan las fallas en la superficie, estudiadas éstas de forma eficiente por la geomorfología (Figura V y VI), propios del trabajo Ramón Cruz et al 1998), Se aprecia una sorprendente coincidencia entre las estructuras cartografiadas por las informaciones obtenidas de los pozos y las determinadas por métodos geomorfológicos .

En el trabajo "Recuperación mejorada en el yacimiento Pina,1998": Los datos obtenidos por la geomorfología se corresponden bien con los de los núcleos de pozos y los trabajos de campo. La geomorfología es una fuente de información muy valiosa para los datos en el yacimiento Pina y futuros reservorios. (Fig. y VI).

Los modelos geomorfológicos y su análisis morfotectónico han sido utilizada además para la elaboración de modelos geológicos y matemáticos en estos yacimientos.

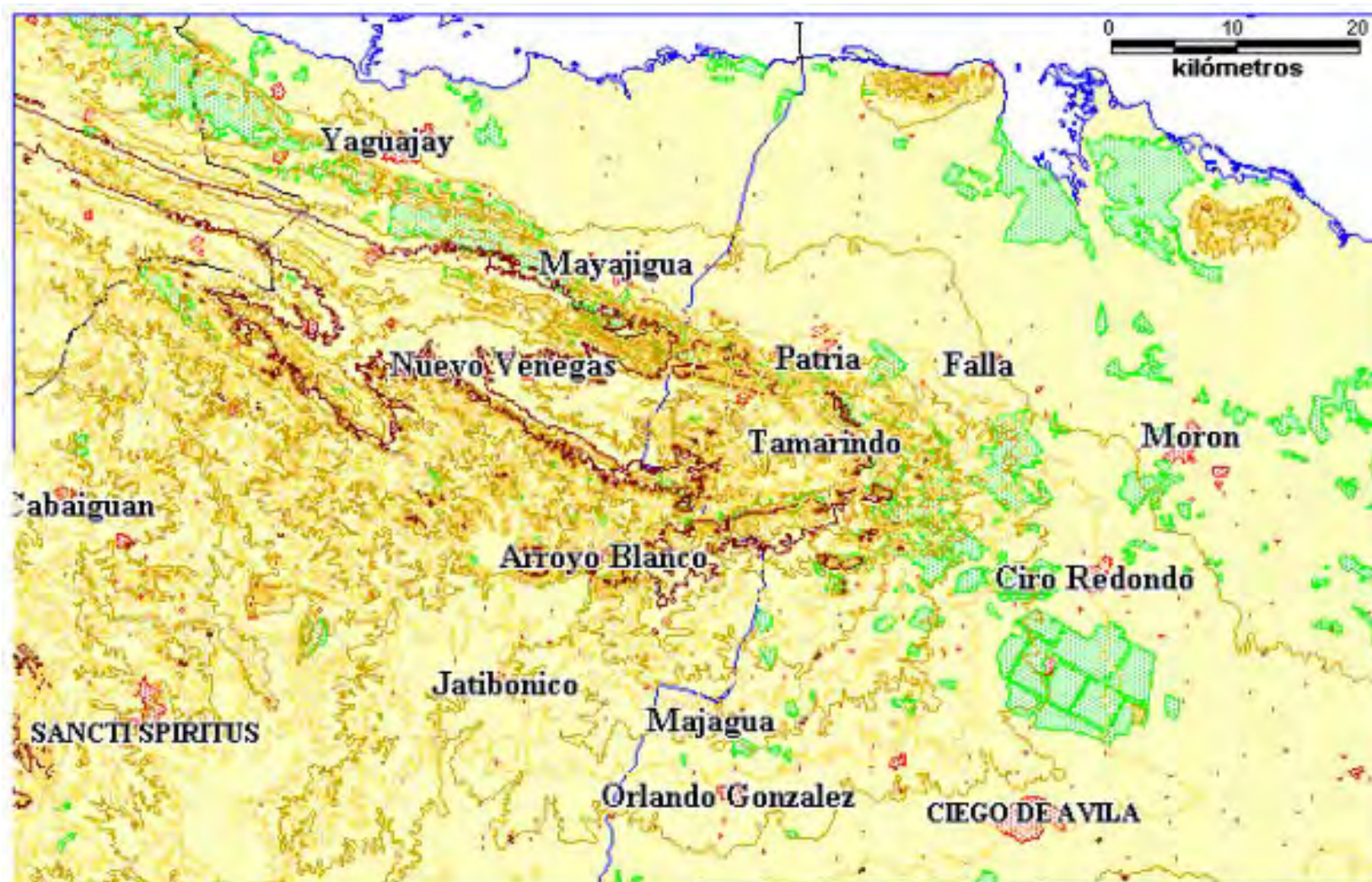
## CONCLUSIONES

1. De forma no muy categórica los lineamientos pueden dividir rocas de cuenca, plataforma y ofeolitas.
2. Desde el punto de vista morfotectónico se identificaron cuatro áreas (I; II, III, IV).
3. Se determinaron dos lineamientos fundamentales de dirección NW y NE, este último desde el punto de vista geomorfológico responsable de la diferenciación en el relieve.
4. La metodología aplicada en el área del yacimiento Pina tuvo resultados satisfactorios.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Castro J.; Aballí P.; Cruz R. 1998 Proyecto 2132, etapa #1. Evaluación de Lead para los bloques 6, 7, 9 y 10.
- Álvarez Castro J; Valladares Amaro S; Carlos Perera F; Cruz Toledo R., 2000 Evaluación de Objetivos y prospectos para la Exploración por CUPET del bloque 21. Archivo petróleo CEINPET.
- Álvarez Castro J; Sánchez J. 2001. Evaluación de Evaluación de Objetivos y prospectos de los bloques (del 12 al 18 y 21) .Archivo Petróleo CEINPET.
- Cruz Toledo R., et al; 2002. La Geomorfología para la búsqueda de petróleo en los bloques 12 y 13. IV Conferencia Latinoamericana de Geofísica y II Congreso Cubano de Geofísica. Memorias CD.
- Cruz R., et al. 1998. Evaluación Morfotectónica de los bloques 6, 7, 9 y 10 como un Objetivo Petrolero. 4<sup>to</sup> Congreso Geológico. Memorias en CD 2001 Mapa Geológico Digital.1:250000 de la República de Cuba. INFOPET.
- Cruz Toledo R., et al . 1998. Recuperación mejorada del Yacimiento Pina. Archivo petróleo CEINPET.
- Tenreiro R.; Cruz R.; et al. 1997. Neotectónica y Tectónica Postorogénica del archipiélago cubano. Aspectos relacionados con el potencial y exploración de hidrocarburos. Aspectos de la tectónica de Cuba con incidencia directa en la exploración de petróleo.

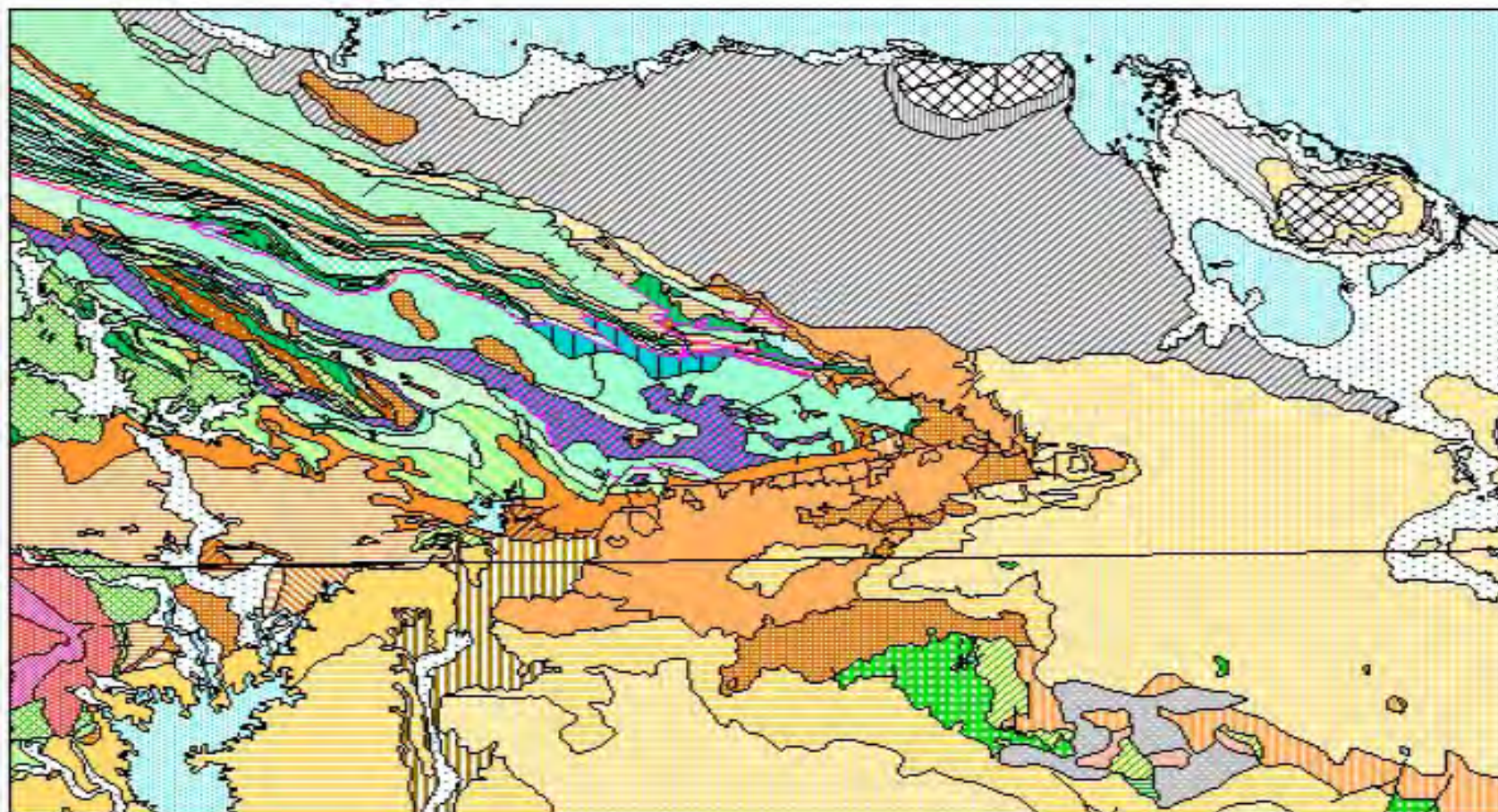








**Figura I: Mapa Cartográfico. Escala Original 1: 250000**







**Figura II: Mapa Geológico. Escala Original 1: 250000**

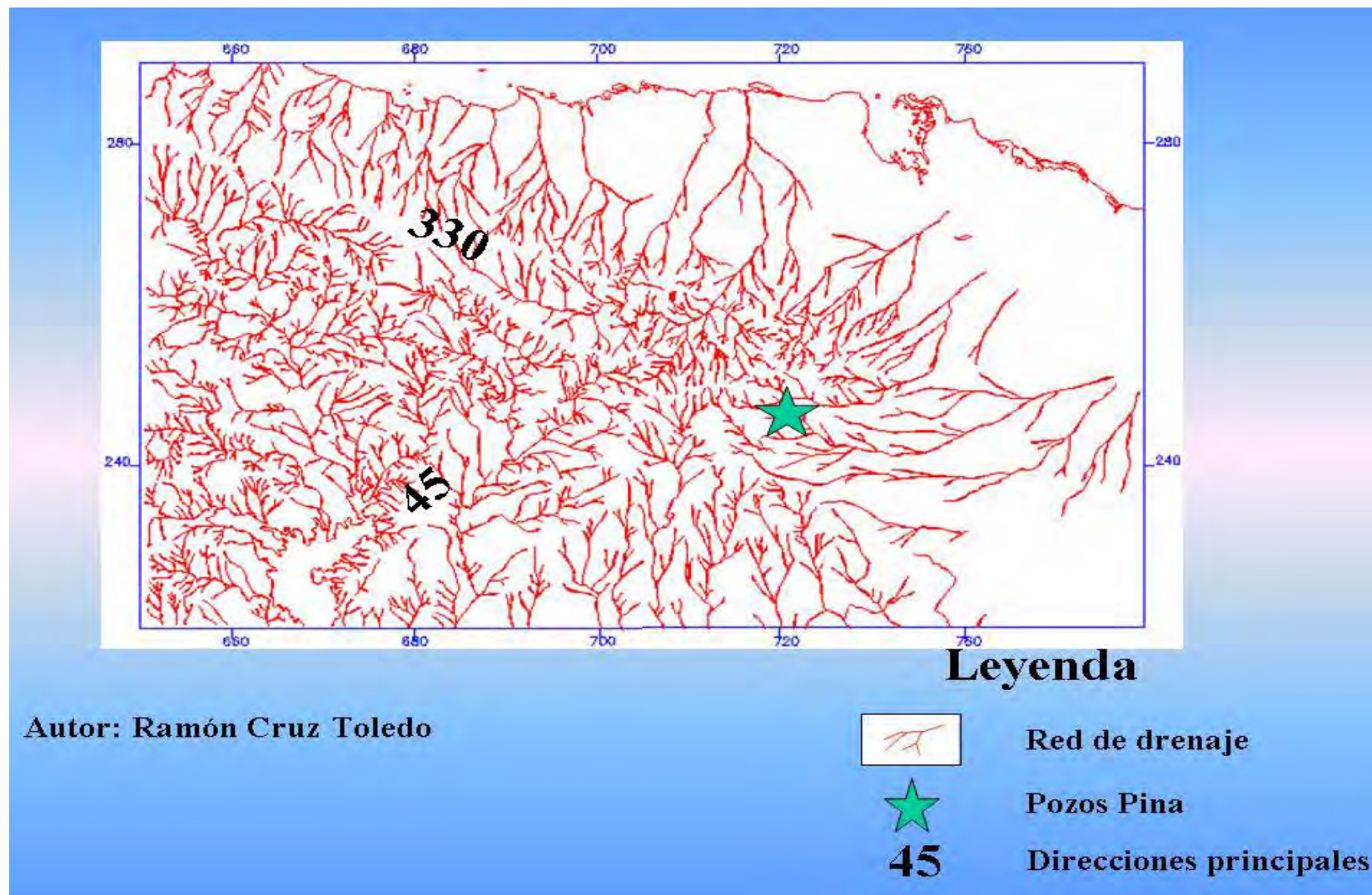
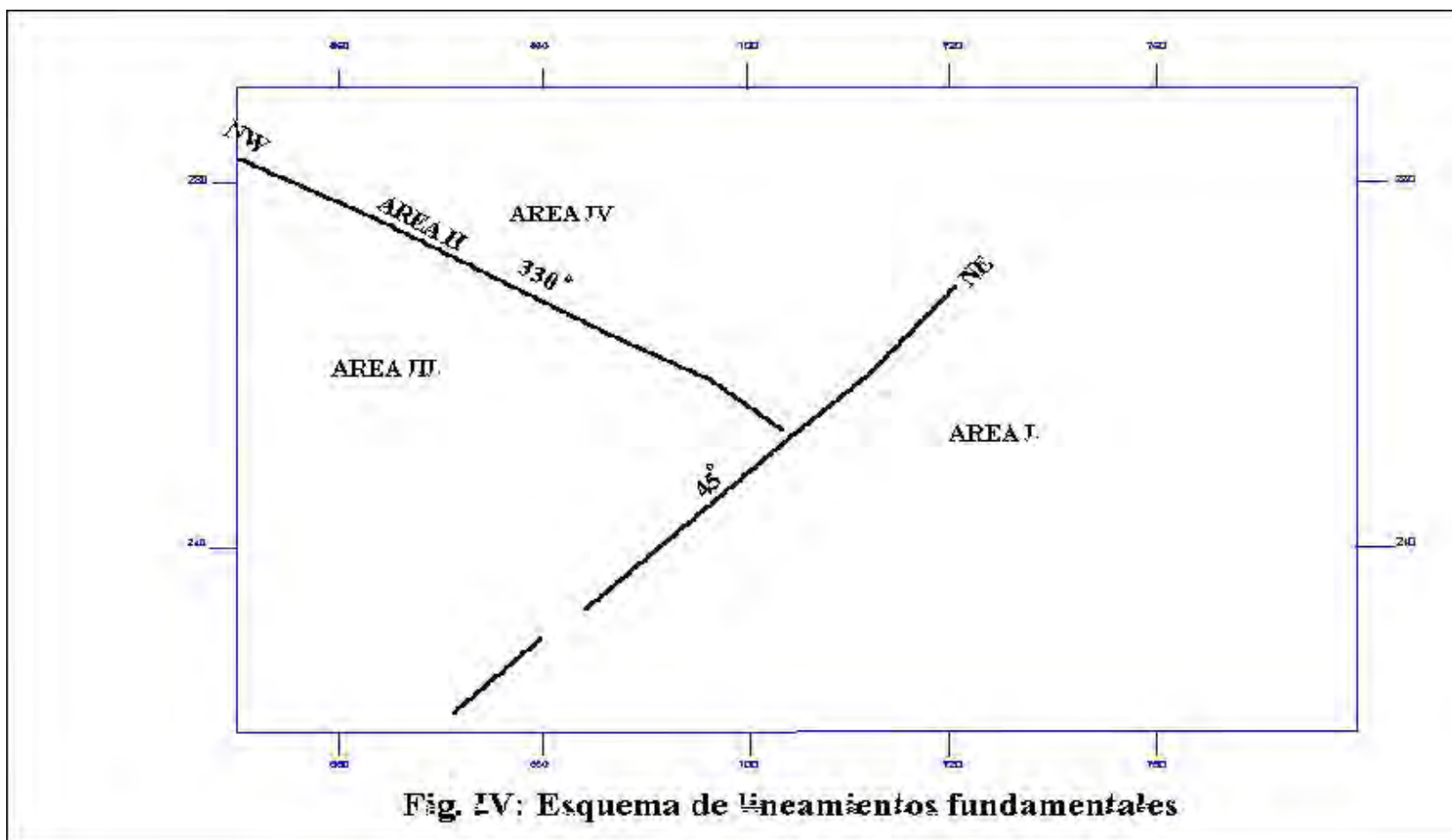
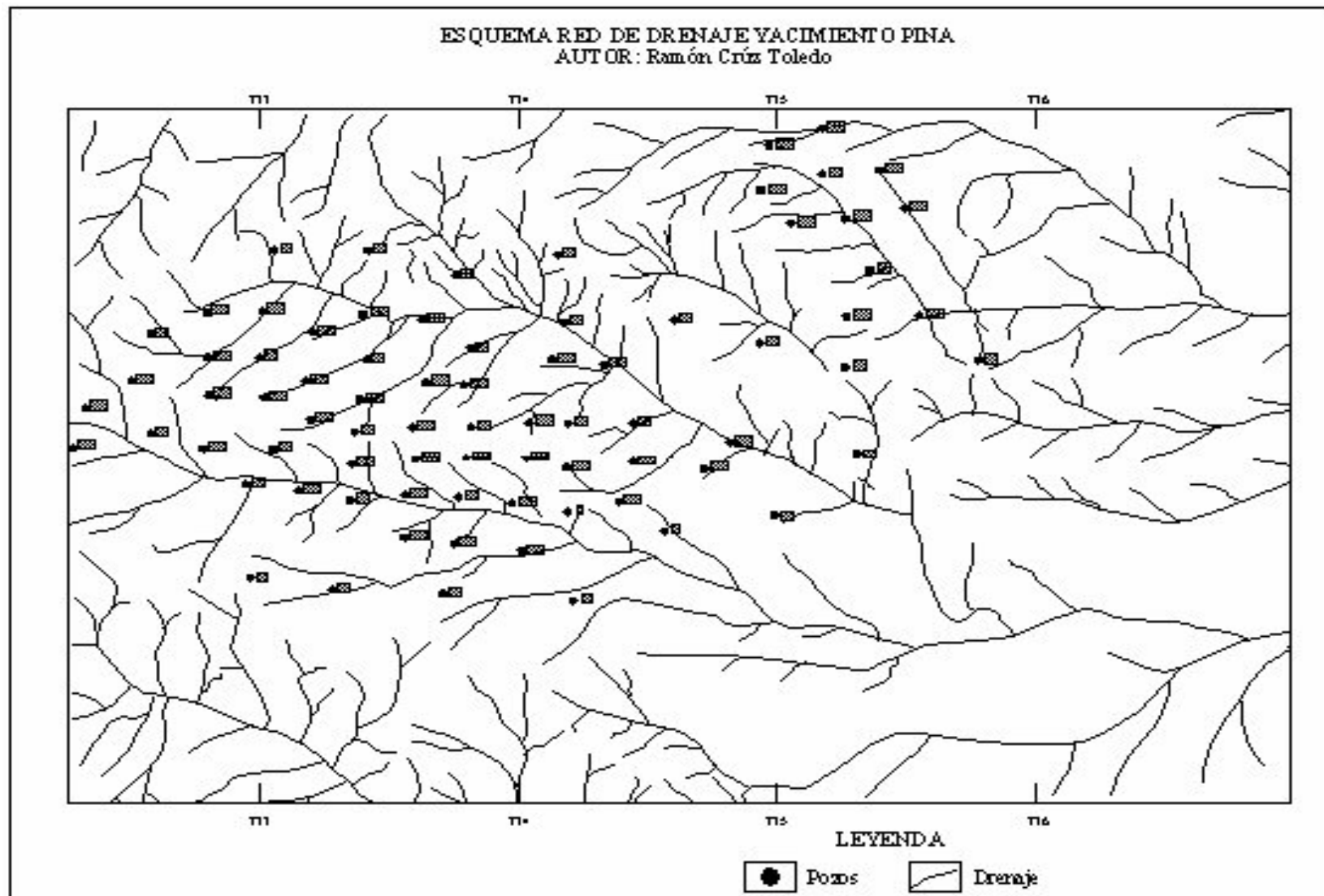




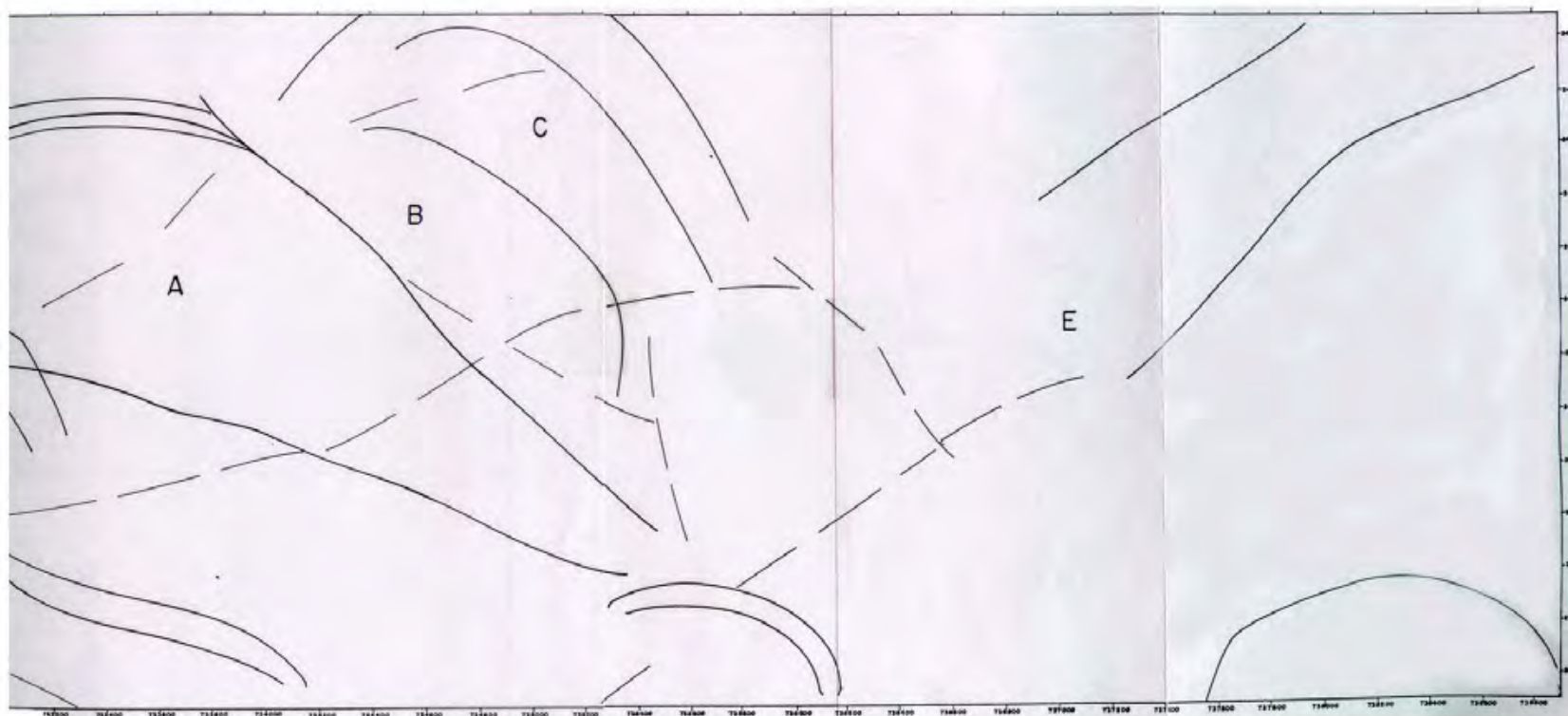
Fig III. Esquema de drenaje del área de Cuenca Central. Escala Original 1:250000








**Figura V: Drenaje de Pina. Escala original 1:10000**



**Leyenda**

 Líneas y rasgos del drenaje y disección vertical.

Áreas perspectivas: A, B, C y D

Otras áreas de interés: E

**Figura VI: Esquema Morfotectónico de Pina**





## **OIL PROSPECT EVALUATION AND ANALYSIS USING GEOFRAME APPLICATION'S SOFTWARE**

Samora Antonio

*SCHLUMBERGER, santonio@luanda.oilfield.slb.com*

GeoFrame is a Schlumberger Information Solutions (SIS) software, designed for Reservoir Characterization, is a solution to the increasing difficulty of discovering and developing viable oil & gas reserves.

GeoFrame helps geoscientists and engineers with prospect interpretation and well planning by providing the efficiency and productivity of a single project database through the entire prospect life cycle.

The Prospect Evaluation workshop is an efficient geological and geophysical using multiple GeoFrame applications, and emphasizes the value of working as an integrated team.

This presentation is focusing in the use of GeoFrame tools to quickly and efficiently evaluates a 3D volume oil reservoir, using wells and 2D seismic data. Geologic data is used to create structure maps, cross-sections, and reservoir attribute analysis. This workshop also emphasizes best practice scenarios for interpretation sessions and tasks related to prospect analysis and production of final maps in a simulated work environment.

## **EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE PROSPECTOS PETROLÍFEROS USANDO GEOFRAME**

GeoFrame es un producto de Schlumberger Information Solutions, diseñado para la Caracterización de Reservas de petróleo. GeoFrame ha sido la solución con el aumento de las dificultades en la pesquisa, exploración y desarrollo viable de las reservas de gas y petróleo.

GeoFrame ayuda a ingenieros y geocientistas en la interpretación de los prospectos y la planificación de pozos, brindando con eficiencia y productividad de la base de datos de un solo proyecto en todo ciclo de vida del prospecto.

Con la utilización de múltiples aplicaciones de GeoFrame, la Evaluación de Prospectos enfatiza desde el punto de vista geológico y geofísico el valor íntegro de trabajar como un equipo.

El trabajo se centra en el uso de las herramientas de GeoFrame para una rápida y eficiente evaluación de los volúmenes de los campos petrolíferos en 3 Dimensiones, haciendo uso de los pozos de perforación y datos sísmicos en 2 dimensiones. Así como la utilización de datos geológicos para la creación de mapas estructurales, cortes estratigráficos y análisis de los atributos.

El workshop también demuestra aspectos prácticos para sesiones de interpretación y tareas relacionadas en el análisis de prospectos y la construcción de un mapa final simulando el ambiente de trabajo.



## **EVALUACIÓN DE SOLVENTES PARA SU POSIBLE APLICACIÓN EN UN PROCESO DE RMP PARA UN YACIMIENTO CARBONATADO FRACTURADO.**

**Lourdes V. Lesmes Garrido, Ariel F. Díaz Sanabria, Amalia Quesada, Orlando Bague Maceo, Isabel López Peláez**

*Ceinet, Washington N.º 169 ESQ. A Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail lesmes@ceinet.cupet.cu*

### **RESUMEN**

Como una alternativa dentro de la Recuperación Mejorada de Petróleo (RMP), se encuentra la inyección de solventes combinados con otros productos, lo cual se considera como uno de los métodos que aplicado en un yacimiento conducen a obtener altas recuperaciones de hidrocarburo.

Para el estudio de estos solventes fue necesario realizar la búsqueda de algunos residuales procedentes de destilerías cubanas de rones, así como productos obtenidos en refinerías. Estos productos se obtienen en cantidades suficientes lo que nos permitió hacer una evaluación de los mismos. En dicha evaluación se tuvieron en cuenta aspectos que se consideran importantes conocer antes de inyectar un producto a la formación, como son: precipitación de asfáltenos, humectabilidad, compatibilidad, así como otros, tales como tensión superficial e interfacial, imbibición capilar y desplazamientos en columnas, cuyos resultados justifican utilizarlos en la RMP.

Como resultado de este estudio se obtuvieron mezclas solubles en la fase de hidrocarburo lográndose una significativa reducción de la viscosidad del crudo.

### **ABSTRACT**

As an alternative of the Enhanced Oil Recovery (EOR), we have the injection of solvents combined with other products, which is considered like one of the methods that applied in an oil field permit us to obtain high hydrocarbon recoveries.

For the study of these solvents it was necessary to carry out the search of some residuals from rum Cuban distilleries, as well as products from refineries. These products are obtained in enough quantities that allow us to make an evaluation of the same ones. In this evaluation they were kept in mind aspects which are considered important for the knowledge, before injecting a product to the formation, like they are: asphaltene precipitation, wettability, compatibility, as well as other, such as surface and interfacial tension, capillary imbibition and column displacements, whose results justify their use in the EOR.

As result of this study, were obtained soluble mixtures in the hydrocarbon phase, achieving a significant reduction of the crude viscosity.





## INTRODUCCIÓN

La creciente demanda mundial de energéticos ha propiciado en los últimos años un fuerte impulso en la investigación encaminada a mejorar técnicas de explotación, teniendo en cuenta que en la recuperación rara vez se alcanzan altos porcentajes del petróleo contenido en la roca almacén, lo que significa que se deja de producir la mitad ó mucho más volumen del petróleo descubierto en los yacimientos ya conocidos. (Gorifulin, Ch.S.1981, CIED PDVSA, 1998)

Como resultado de esta problemática se desarrollan en el mundo métodos encaminados a incrementar la producción entre los que se encuentran la inyección de solventes, combinados con productos químicos considerados como uno de los procesos dentro de la Recuperación Mejorada de Petróleo (RMP) que presenta amplias perspectivas para ser aplicadas con éxito.

La miscibilidad es un fenómeno físico que consiste en la mezcla de dos fluidos en todas las proporciones sin que se forme entre ellos una interfase. Se dice entonces que un fluido es solvente del otro. La propiedad más importante son las fuerzas de atracción de carácter electroquímico que se ejercen entre las moléculas por lo que una condición para que dos fluidos sean miscibles es que exista afinidad química entre ambos. (Rodríguez, R.1976)

Para aplicar un proceso miscible o tipo miscible en un yacimiento determinado es necesario hacer una serie de análisis que permitan definir las posibilidades de éxito en las que se deben incluir entre otras fases una cuidadosa investigación de laboratorio, teniendo en cuenta las características del yacimiento, que puedan tener influencia en su aplicación como son: presión, temperatura, viscosidad y otros con la condición de que se establezca miscibilidad entre el solvente y el petróleo. (Miam, M. A 1992, Rodríguez, R. 1976)

Partiendo de esta premisa en el laboratorio de física de yacimientos del CEINPET se desarrolla un intenso trabajo experimental con algunos residuales, procedentes de destilerías cubanas de rones, así como otros obtenidos en refinerías.

El objetivo del presente trabajo es evaluar dichos productos para ser utilizados como solventes en un futuro proceso de Recuperación Mejorada de Petróleo en un yacimiento carbonatado fracturado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se buscaron productos residuales de diferentes industrias cubanas, que son los siguientes:

- P1: Producto residual de destilería.
- P2: Producto residual de destilería.
- P3: Producto residual de refinería.

Estos productos fueron estudiados frente al agua de capa, petróleo y formación correspondiente a un yacimiento carbonatado fracturado.

Se ejecutó el siguiente programa de prueba:

- Determinación de densidad, viscosidad, PH, asfalteno, resina y BSW.
- Estudio de solubilidad, tensión interfacial y superficial.



- Estudio de Humectabilidad (Bottle Test), Compatibilidad, Factor Screen, Imbibición Capilar y Desplazamiento en Columnas.

Todos estos ensayos fueron realizados de acuerdo a los procedimientos establecidos en las técnicas correspondientes, así como las que corresponde a las normas API y ASTM.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla I. Características del agua de capa y de la formación.

Muestras	Características
Agua de Capa	Hidrocarbonatada Sódica
Rocas	Carbonatadas

Tabla II. Características del petróleo utilizados.

Muestra	° API	Viscosidad cp		TS	TI	Asf	Res	H <sub>2</sub> O	Emul	BSW
		30 °C	50 °C	din/cm	din/cm	%	%.	%	%	Total
Petróleo	10.0	14341	2608	34.9	7.7	17.2	20.3	8.5	21.5	30

En la tabla I y II se muestran las características de los fluidos y de la formación con los cuales se realizaron los estudios de evaluación de los productos. Para este estudio se tomaron muestras de rocas de la formación Cifuentes, caracterizada por tener un corte casi en su totalidad carbonatado. También se tomaron muestras de petróleo de un compuesto que como se observa en la tabla II se corresponde con un crudo pesado, emulsionado con alto contenido de agua, de asfalto y de resinas.

Tabla III. Características de los Productos.

Productos	Ph	Dens. gr/cm <sup>3</sup>	Viscosidad cp		TS din/cm	TI din/cm	Solub. en medio	
			30 °C	50 °C			Acuoso	Hidroc.
P1	3.97	1.027	1.22	1.06	43.3	10.1	Soluble	insoluble.
P2	4.31	0.950	1.72	1.11	24.9	1.0	Soluble	insoluble.
P3	—	0.9358	3.93	2.22	28.2	24.4	—	Soluble

En la Tabla III se muestran los resultados de caracterización físico – químico de los productos a evaluar. Para el caso de los productos P1 y P2 la principal característica a apreciar está dada, por la insolubilidad que presentan los mismos en el medio hidrocarburo por lo que como uno de



los objetivos fundamentales de la investigación es obtener un solvente que se solubilice en el petróleo, actuando sobre su viscosidad, fue necesario analizar otros productos.

En aras de lograr dicho efecto se prepararon una serie de mezclas incluyendo el producto P3 como solvente, con las características que se muestran en la misma tabla. También decidimos incluir Travis como agente tenso activo comercial, disponible en gran cantidad en las Empresas de Petróleo. Las mezclas preparadas se encuentran reflejadas en la siguiente tabla IV.

Tabla IV. Composición de las mezclas.

Mezcla	Composición
1	20% P3 con 1%de Travis+80%de P1
2	20% P3 con 0.1%de Travis+80%de P1
3	20%P2+ 20% P3 + 60% P1
4	30%P2+ 20% P3 +50% P1
5	40%P2 +20% P3 +40% P1

Es importante destacar que cada una de las mezclas anteriormente mencionadas está compuesta por dos fases que no se mezclan, la fase hidrocarburo representada por el P3 y la fase acuosa.

Tabla V. Características de las mezclas.

Mezclas	TS din./cm	TI din./cm	Solubilidad en medio	
			Acuoso	Hidrocarburo
1	34.0	0.2	soluble	soluble
2	34.9	4.8	soluble	insoluble
3	36.4	10.4	soluble	insoluble
4	33.6	9.0	soluble	insoluble
5	26.5	3.0	soluble	soluble

Como puede observarse en la tablaV, las mezclas 2, 3 y 4 presentan altos valores de tensión interfacial lo que unido a su baja solubilidad en el petróleo definieron la selección de la mezcla 1 y 5 como las que presentan mejor comportamiento tanto en los resultados obtenidos en los valores de tensión, como en la solubilidad en la fase hidrocarburo.

Tabla VI. Solubilidad en fase hidrocarburo para las mezclas 1y 5.

Producto	Tolueno	Keroseno	Petróleo
Mezcla 1	Soluble	Soluble	Soluble
Mezcla 5	Soluble	Soluble	Soluble

La parte de la mezcla que es soluble en la fase hidrocarburo es P3, mientras que la otra fase P1y P2 es soluble en la fase acuosa.



Tabla VII. Análisis de la fase hidrocarburo al ponerse en contacto con las mezclas 1 y 5.

Petróleo	Viscosidad CP		TS din/cm	TI din/cm	%Asf.	%Res.
	30 °C	50 °C				
Petróleo con mezc. 1	686.9	206.4	32.4	1.0	14.32	21.6
Petróleo con mezc. 5	1318	478	32.2	3.1	10.73	15.57
Muestra de Petróleo	14341	2608	34.9	7.7	17.23	20.33

En la tabla VII se presentan las características físico –químico de los petróleos al ponerse en contacto con las mezclas a evaluar. Como puede observarse en general se aprecia una mejoría en cuanto a la calidad del crudo obtenido tanto en la mezcla 1 como en la mezcla 5 con respecto a la muestra de petróleo antes del tratamiento, pues se observan mejores valores en cuanto a la disminución de las viscosidades y las tensiones, aspecto que se acentúa más en la mezcla 1. En el caso de los asfaltenos también se observa una ligera disminución de los mismos en ambas mezclas.

### Humectabilidad

La Humectabilidad en un Yacimiento de petróleo es una medida de la afinidad de la superficie de la roca por la fase petróleo ó por la fase acuosa, jugando un papel importante en la recuperación del crudo (Cuiec. L.1984). En la tabla VIII se muestran los resultados obtenidos desde el punto de vista cualitativo.

Tabla VIII. Resultados de la Humectabilidad.

SOLUCION DE PRUEBA	RESULTADOS CON LA ROCA
AGUA DE CAPA	OLEOHUMECTANTE
Mezcla 1	ACUOHUMECTANTE
Mezcla 5	ACUOHUIMECTANTE

Al valorar la humectabilidad de las rocas partiendo de que estas por su naturaleza son oleohumectantes, se observa un cambio de humectabilidad en la roca, de Oleohumectante a Acuohumectante , cuando se está en presencia de las mezclas 1 y 5, notándose en el caso de la mezcla 1, que el petróleo se separa libremente hacia la superficie y la arena queda limpia, mientras que en el caso de la mezcla 5, si bien el petróleo se separa, dejando la arena limpia, gran parte del mismo queda en la fase acuosa y otra parte en la superficie.

### Compatibilidad

Los ensayos de compatibilidad se realizan con el objetivo de demostrar si hay presencia de emulsiones entre el producto a inyectar y los fluidos que se encuentran en la roca, las cuales ocasionaría Daños en la Formación. En las tablas IX, X y XI se exponen los resultados de compatibilidad entre las mezclas seleccionadas (1 y 5) y el petróleo utilizado; así como los resultados en presencia de agua del propio yacimiento y agua de mar en distintas proporciones (25, 50 y 75 %). En este estudio se valoró el agua de mar como posible agente de desplazamiento en la aplicación de la tecnología.



Tabla IX. Compatibilidad de las mezclas con el petróleo a T = 45 °C

PRODUCTO	% SEPARACIÓN VS TIEMPO (min)				
	10	30	60	120	240
Mezcla 1	67.5	75	92.5	112	125
	67.5	75	87.5	100	125
Mezcla 5	50	75	75	75	75
	62.5	75	75	75	75

En esta tabla IX, referida a la compatibilidad de la mezcla con el petróleo, se observa que con la mezcla 5 solo se alcanza un 75 % de separación, mientras que con la mezcla 1 se sobrepasa el 100 % de separación. La mayor efectividad se logra a partir de los 60 minutos. Los porcentajes superiores a 100 se explican debido a la existencia de emulsiones en el petróleo utilizado.

Tabla X. Compatibilidad de las mezclas con agua de capa y petróleo a T = 45 °C.

PROD	% SEPARACIÓN VS TIEMPO (min)									
	25 % AGUA DE CAPA					50 % AGUA DE CAPA				
	10 min	30 min	60 min	120 min	240 min	10 min	30 min	60 min	120 min	240 min
Mezcl. 1	72	75	87	100	-	75	75	85	92	100
	70	75	95	115	125	75	80	82	100	125
Mezcl. 5	87	87	87	87	87	87	87	87	100	-
	87	87	87	87	87	87	87	87	87	100

En la tabla X se realiza un estudio de la compatibilidad de las mezclas con petróleo y agua de capa a diferentes proporciones, observándose mas de un 85% de fase acuosa separada a partir de los 60 minutos, en ambas mezclas.

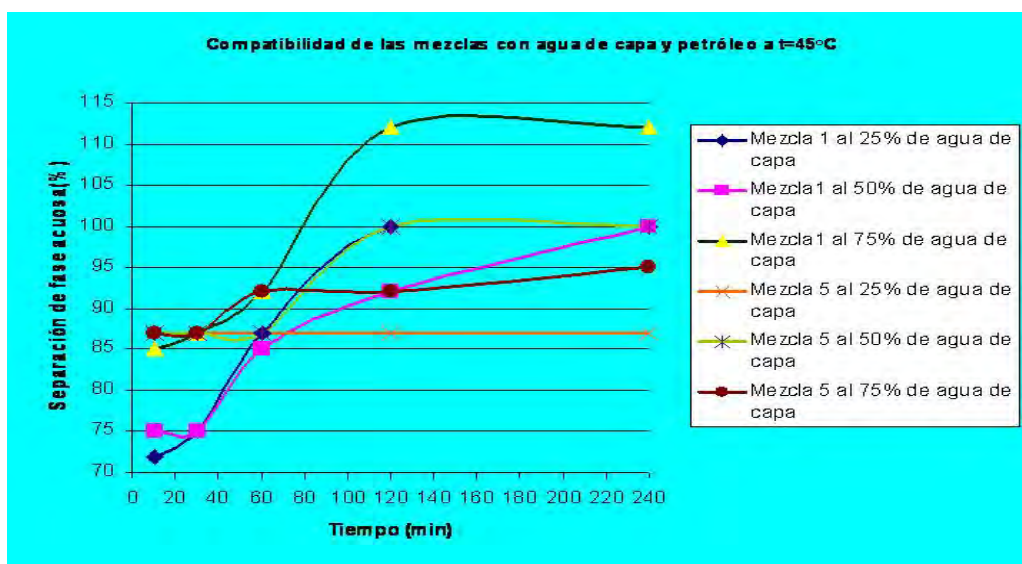


Figura 1. Compatibilidad de las mezclas con agua de capa y petróleo.



Tabla XI. Compatibilidad de las mezclas con agua de mar y petróleo a T = 45 °C

PROD	% SEPARACIÓN VS TIEMPO (min)									
	25 % AGUA DE MAR					50 % AGUA DE MAR				
	10 min	30 min	60 min	120 min	240 min	10 min	30 min	60 min	120 min	240 min
Mezcl 1	75	80	87	102	112	82	87	90	92	100
	100	100	102	112	125	100	105	107	112	125
Mezcl 5	87	87	87	87	87	100	100	-	-	-
	87	87	100	-	-	100	-	-	-	-

Se observa en la tabla XI que tanto la mezcla 1 como la mezcla 5 la mayor efectividad se logra a partir de los 60 minutos; con resultados superiores en la mezcla 1. En general se consideran que ambas mezclas no presentan problemas de compatibilidad con los fluidos de la formación como se muestra en la figura 1 al obtener desde el inicio del ensayo más de un 70% de fase acuosa separada del petróleo.

Tabla XII. Resultados del factor screen para las mezclas 1 y 5.

Mezclas	FS	FSr	PF
Mezcla 1	5.41	0.35	1.01
Mezcla 5	6.94	1.20	1.03

El análisis del factor screen tiene como objetivo determinar operativamente las propiedades reológicas y de filtración del producto al pasar por el medio poroso, dado por el factor de resistencia (FS), el factor de resistencia residual (FSr) y las propiedades de filtración (PF). Por metodología se establece:

- Si PF=1 la propiedad de filtración del reactivo es buena
- Si PF= 1-2 es satisfactoria
- Si PF> 2 es mala, es decir el reactivo tupa el medio poroso

Se observa en los resultados de la tabla XII que las propiedades de filtración de ambas mezclas son satisfactorias ya que al pasar nuevamente el agua de capa esta recobra su permeabilidad, aspecto este que se ve más acentuado en el caso de la mezcla 1, por el valor obtenido de (FS) y (FSr).

Tabla XIII. Desplazamiento en columnas para las mezclas 1 y 5 a T= 45 °C.

Productos	% Volumen poral	Petróleo desplazado
Mezcla 1	25	3.01%
Mezcla 5	25	3.22%

La prueba de columna es una forma rápida de evaluar el coeficiente de barrido en determinadas condiciones en el medio poroso a temperatura de capa. En la tabla anterior se observa que no existe una diferencia significativa en cuanto al petróleo desplazado, lo que nos da una idea que ocurre desplazamiento de petróleo al pasar ambas mezclas por la roca.





Tabla XIV. Resultados de la imbibición capilar para las mezclas 1 y 5 a T= 45 °C

Muestra	Producto	$\phi$ %	Peso Petróleo (g)	Peso Petróleo desplazado. (g)	$\eta$ %
1	Mezcla 1	0.6088	0.0158	0.0014	8.93
2	Mezcla 5	0.4661	0.0085	0.00078	9.15

Otra forma de evaluar el barrido de petróleo de forma rápida es a través de las pruebas de imbibición capilar, que no es más que el desplazamiento espontáneo por acción de las fuerzas capilares presente en el medio poroso en determinadas condiciones. Como se muestra en la tabla XIV los resultados de recuperación ( $\eta$ ) obtenidos en ambas mezclas son valores bastante parecidos y alentadores.

## CONCLUSIONES

De todo este trabajo se concluye:

- 1- Con la mezcla 1 y 5 se logra obtener buena solubilidad en el petróleo.
- 2- Con la mezcla 1 y 5 la formación pasa de oleohumectante a acuohumectante.
- 3- Las mezclas 1 y 5 no presentan problemas de compatibilidad con los fluidos del yacimiento.
- 4- Las propiedades de filtración de ambas mezclas (1 y 5) son satisfactorias con el recobro de la permeabilidad al agua de capa.
- 5- Con la mezcla 1 y 5 se logra una significativa reducción de la viscosidad del petróleo.

## RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación realizada de la mezcla 1 y 5 se proponen ambas mezclas para realizar los estudios de simulación física en medios porosos.

## BIBLIOGRAFÍA

- CIED, PDVSA. 1998 Libro Texto de Curso de Postgrado. "Recobro adicional de Petróleo por métodos convencionales". Segunda Edición, Caracas.
- Cuiec, L., 1984 "Roc /crude oil interactions and wettability, an attempt to understand their interaction", paper SPE 13211 presented at the SPE annual technical.
- Gorifulin, Ch. S., U.M. Baikov, 1981. "Experimentos de Campo sobre Inyección de residuos de destilación". Neftianoe Jaziasvto, (Rusia) 8
- Mian, M. A. 1992. "Petroleum engineering handbook for the practicing engineer", Penn Well Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, vol. 1 y 2.
- Rodriguez, R. N., J. R. Rivera, 1976. "Desplazamiento con fluidos miscibles: una respuesta idónea para incrementar la recuperación de Hidrocarburos". *Revista mexicana del petróleo* (México)



## **LA EVOLUCIÓN TECTONO-SEDIMENTARIA DEL GOLFO DE MÉXICO: UN MARCO PARA LA EVALUACIÓN DE CUENCAS EN MÉXICO**

Ernesto Miranda Canseco, Roberto Rojas Rosas  
Pemex Exploración y Producción

La nueva información sísmica y magnetométrica que cubre la totalidad del Golfo de México y la integración y análisis de datos geológicos y geofísicos de las cuencas sedimentarias de la planicie costera de México, del Golfo de México, del Caribe y la parte norte de Sudamérica, han permitido definir con mayor precisión un modelo integrado de la evolución de México y sus cuencas sedimentarias, y un nuevo marco tectono-sedimentario para entender sus sistemas petroleros.

Existen dos etapas de apertura del Golfo de México. La Etapa 1 involucró la extensión asimétrica de la litósfera durante el Jurásico Temprano y Medio, en la cual Yucatán fue el bloque que se desprendió del margen de Burgos-USA. En esta etapa se depositaron principalmente capas rojas y sal. La Etapa 2 involucró la rotación de Yucatán en sentido contrario a las manecillas del reloj durante el Oxfordiano-Berriasiano, con cizallamiento dextral a lo largo del margen oriental de México, y en parte entre los Macizos de Chiapas y la Mixtequita. Caracterizaron esta etapa la formación de corteza oceánica en el Golfo central y sedimentación principalmente marina, incluyendo las rocas generadoras del Jurásico Superior y del Neocomiano.

Las condiciones de margen pasivo del Cretácico cesaron en el Senoniano con el cierre de la cuenca de tras-arco en México central, y con la colisión arco-continente al sur de Chiapas, seguido por el inicio del movimiento hacia el oriente del Bloque Chortís a lo largo del sur de México.

La formación y evolución de la Sierra Madre Oriental y de la Sierra de Chiapas tuvieron un impacto significativo para el aporte de sedimentos hacia el Golfo de México, la presencia o ausencia de sal autóctona jugó un papel clave en la formación de las provincias tectónicas del Golfo.

El nuevo marco cronoestratigráfico definido para el Golfo profundo está permitiendo una mejor caracterización las provincias tectónicas situadas en la plataforma continental y aguas profundas así como su relación con las cuencas de la planicie costera del Golfo.

Los modelos propuestos nos permiten entender elementos claves de los sistemas petroleros de las cuencas del Golfo de México en términos de evolución regional y permiten planear actividades exploratorias que nos ayudarán a evaluar el potencial petrolero de esta megacuena.



## EL EMPLEO DE LA **TECNOLOGIA REDOX** PARA EL ESTUDIO Y EVALUACION DE OCURRENCIAS GASO-PETROLIFERAS; UN EJEMPLO: CEBALLOS

**Osvaldo Rodríguez<sup>(1)</sup>, Manuel Pardo<sup>(2)</sup> y Pedro H. Pérez<sup>(2)</sup>**

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No. 169 esq. a Churruga, Cerro, CP 12 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: [ormoran@ceinpet.inf.cu](mailto:ormoran@ceinpet.inf.cu)

(2) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca No. 1002 entre prolongación de Carretera Central y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: [pardo@igp.minbas.cu](mailto:pardo@igp.minbas.cu)

Palabras claves: redox, exploración petrolera, geología, geofísica

### RESUMEN

El Centro de Investigaciones del Petróleo, en coordinación con la EPEP Majagua, contrataron los servicios del IGP para evaluar, mediante la **Tecnología Redox** un prospecto petrolífero en la región de Ceballos, provincia de Ciego de Ávila. En el presente trabajo se resumen los resultados de estas investigaciones, complementados con la reinterpretación del complejo convencional de exploración. La tarea planteada consistía en la cartografía de la posible ocurrencia, estableciendo criterios sobre su tipo estructural, profundidad y naturaleza del hidrocarburo.

El área se identifica por una morfoestructura positiva de dirección sublatitudinal ( $Az=80^\circ$ ) y dimensiones 3.6x1.65 km, cuyos límites Sur y Norte coinciden con cañadas, sugiriendo la presencia de fallas regionales. El límite Sur coincide con un escalón gravimétrico, aeromagnético y aerogammaespectrométrico, revelando una falla detectada mediante balanza de torsión. La morfoestructura es atravesada en su porción occidental por una falla de rumbo NE ( $Az=45^\circ$ ), la cual intercepta, por su centro, a la anomalía satelital indicadora de la presencia de hidrocarburos, sugiriendo la vía para su migración y entrapamiento. De otra parte, la anomalía areal de la Susceptibilidad Magnética, dentro de la porción centro-occidental de la morfoestructura, con igual rumbo y dimensiones 1.9x1.2 km, define la cartografía del reservorio, el cual, a juzgar por los valores de  $Kappa_N$  y de la interpretación de los datos geoquímicos (Grado Redox=15.5), contiene un hidrocarburo de naturaleza pesado-pesado/ligero. Por otro lado, el carácter desarticulado y de máximos del Potencial Redox evidencia la presencia de gas en el reservorio. La interpretación final de los datos del **Complejo Redox**, revelan una trampa contra falla (al Sur) cuya parte más alta se halla a una profundidad de  $900\pm 100$  m y un posible sombrero de gas a una profundidad de  $200\pm 50$  m.

### ABSTRACT

As part of the Project I+D 2401 "Upgrade of the Hydrocarbons Potential of Cuba, 2002-2005", of the CEINPET and, in collaboration with the EPEP Majagua, the services of the IGP were contracted to evaluate, by means of the **Redox Technology** an oil prospect in the region of Ceballos, province of Ciego de Ávila. Presently work summary the results of these investigations, supplemented with the reinterpretation of the exploration conventional complex. The outlined task consisted on the cartography of the possible



occurrence, establishing approaches on its structural type, depth and nature of the hydrocarbon.

The area is identified by a positive morphostructure of sublatitudinal ( $Az=80^\circ$ ) direction and dimensions  $3.6 \times 1.65$  km, whose limits South and North concurred with small streams, suggesting the presence of regional faults. The South limit coincides with a step gravimetric, airborne magnetic and airborne gamma-ray, revealing a fault detected by means of torsion balance. The morphostructure is crossed in its western portion by a fault with NE ( $Az=45^\circ$ ) direction, which intercepts, for its center, the satelital anomaly indicative of the presence of hydrocarbons, suggesting the way for its migration and entrapping. Of another part, the areal anomaly of the Magnetic Susceptibility, inside the center-western portion of the morphostructure, with same direction and dimensions  $1.9 \times 1.2$  km, defines the cartography of the reservoir, the one which, judging by the values of  $Kappa_N$  and of the geochemical data interpretation (Redox Grade  $\approx 15.5$ ), it contains a nature hydrocarbon heavy-heavy/light. On the other hand, the disjointed character and of maxima of the Redox Potential evidences the presence of gas in the reservoir. The final interpretation of the **Redox Complex** data, reveal a trap against fault (to the South) whose higher part is to a depth of  $900 \pm 100$  m and a possible hat of gas to a depth of  $200 \pm 50$  m.

## INTRODUCCION

La historia y desarrollo gaso-petrolífero de la Cuenca Central, según [2], es la historia del empleo de diferentes criterios geológicos de búsqueda (directos, estructurales, estratigráficos, tectónicos, etc.), complementados con un complejo convencional de geofísica de prospección (gravimetría y sísmica), los cuales han tenido éxitos muy parciales. Aún no se cuenta con un conjunto de criterios efectivos que expliquen, de manera integral, los mecanismos que determinaron la migración y posterior entrapamiento de los hidrocarburos en las diferentes áreas de la Cuenca Central. Para ejemplificar esto, baste señalar que en los últimos 55 años solo se han revelado como yacimientos, el área Cristales (mediano), Jatibonico (pequeño) y Pina (pequeño), además de otras áreas con muy limitadas producciones como son Reforma, Catalina, Guayacanes, Mamonal y Brujo. Esto hace que se mantengan y complejicen las investigaciones en esta región, pues, en buena lógica, no es comprensible que en un área tan extensa solo se localicen tres yacimientos de importancia industrial.

En esta dirección de trabajo ha tenido lugar: la incorporación dentro del complejo convencional de exploración de la aeromagnetometría; el uso de la tecnología más avanzada de campo y procesamiento en la sísmica de reflexión 2D y; el empleo de la geomorfología. Es solo a partir del año 2002, que comienzan a utilizarse sistemáticamente, con carácter complementario, las técnicas geofísico-geoquímicas no convencionales de exploración como la **Tecnología Redox**. El Centro de Investigaciones del Petróleo, en coordinación con la EPEP Majagua, contrataron los servicios del IGP para evaluar, mediante la **Tecnología Redox** (Escenarios Satelital y Aerogammaespectrométrico, Geomorfología, Susceptibilidad Magnética, Potencial Redox, Reflectancia Espectral y Pedogeoquímica) un prospecto petrolífero en la región de Ceballos, provincia de Ciego de Ávila. Los trabajos se realizaron, en el mes de Marzo del 2004, en tres perfiles transversales de 3.0 km, con distancia de 500 m y paso



de observación 250 m, y dos perfiles cortos de 1.5 km, ubicados a mayor distancia e igual paso de observación, en los extremos del sector.

En el presente trabajo se resumen los resultados de estas investigaciones, complementados con la reinterpretación del complejo convencional de exploración (gravimetría, aeromagnetometría y sísmica de reflexión 2D). La tarea planteada consistía en la cartografía de la posible ocurrencia, estableciendo criterios sobre su tipo estructural, profundidad y naturaleza del hidrocarburo.

## MATERIALES Y METODOS

### Datos generales sobre el sector y su Grado de Estudio

El centro del sector Ceballos se encuentra ubicado a 3.5 km al SO del poblado Ciro Redondo (Pina) en la hoja cartográfica Ceballos (4481-I), provincia de Ciego de Ávila. El área, la cual abarca a ambos lados de la carretera que une las ciudades de Ciego de Ávila y Morón, pasando por el poblado referido, se caracteriza por el cultivo de la caña de azúcar y cítricos; la misma tiene accesos aceptables a través de caminos cañeros y citrícolas.

El Grado de Estudio del sector Ceballos, según [2], puede separarse en dos etapas:

- La primera etapa comprende las décadas de los 60-70 y se caracteriza por el uso de la gravimetría residual, los estudios gravimétricos mediante balanza de torsión y la sísmica de refracción (Perfil 78). A partir de estos estudios fueron ubicados los pozos Ceballos 1 y 3, estando localizado el primero dentro del actual sector de estudio. El pozo Ceballos 1 tiene 1449 m de profundidad y presentó manifestaciones de hidrocarburo aproximadamente a los 1000 m, con resultados positivos en el ensayo. Su posición exacta con respecto a una falla regional, detectada por balanza de torsión y, de acuerdo a la interpretación del perfil de refracción (Perfil 78), coincide con su borde Sur, donde el horizonte refractor comienza a levantar en esa dirección. Dentro del actual sector de los trabajos, la sísmica de refracción exhibe un bloque hundido con una frontera refractora, insegura, a más de 2000 m de profundidad.
- La segunda etapa comprende las décadas de los 80-00 y se caracteriza por el uso de la gravimetría residual, buscando máximos indicativos del levantamiento del tope de las tobas, y la sísmica de reflexión 2D (la aeromagnetometría se usó en mucho menor grado). El papel predominante dentro de este complejo lo jugó la sísmica de reflexión 2D, con tres perfiles en el sector de los trabajos (realizados por la Compañía Premier e interpretados por DIGICUPET) partir de los cuales fue revelado un interesante levantamiento estructural de rumbo sublongitudinal.

### Sobre la Tecnología Redox

El **Complejo Redox** (Potencial Redox, Susceptibilidad Magnética, Reflectancia Espectral y Pedogeoquímica) [5] es un complejo de técnicas geofísico – geoquímicas no convencionales de exploración, usado para la detección directa y evaluación de diversos objetos de naturaleza metálica, el cual se basa en el **Principio Geoquímico de la Migración Vertical de Iones Metálicos** hacia el suelo. Este complejo, brinda



información sobre las modificaciones del medio que tienen lugar en la parte superior del corte, directamente sobre el objetivo, controladas por las particularidades de composición, grado, rasgos geométricos y de yacencia del mismo, por lo que resulta particularmente efectivo en su localización y caracterización, permitiendo la optimización de la toma de decisiones y la elevación de la tasa de éxito de la perforación exploratoria. El mencionado complejo se integra en una nueva tecnología (**Tecnología Redox**) a partir del uso de una Estrategia de Exploración basada en el empleo de Escenarios Satelitales para la reducción de áreas y la selección de los sectores mas favorables para la verificación terrestre, cuyo diseño se basa en el mismo principio geoquímico antes mencionado.

### **Sobre los Escenarios a Distancia**

Los recientes estudios [5] sobre la Reflectancia Espectral Reducida por el fondo local (RER) en muestras de suelo sobre áreas petrolíferas de producción y periféricas, exhiben una correlación muy estrecha entre los mínimos de RER con el incremento en los contenidos de Ni y V, provenientes del hidrocarburo entrampado. Al propio tiempo, estudios análogos, pero en objetivos medio ambientales, arrojan una relación de los máximos de RER con incrementos de Pb (Zn, en menor grado) provenientes de derrames de gasolina en el manto freático. Estos hechos dieron pie al diseño de una metodología para el procesamiento de imágenes Landsat, basada en la regionalización del fondo y su sustracción, con el fin de la obtención de imágenes residuales, cuyo carácter de las anomalías tonales (negativas o positivas) podía sugerir la posición y naturaleza del hidrocarburo entrampado en presuntos reservorios: anomalías negativas mas intensas- hidrocarburos más pesados (predominio del Ni y el V) y; anomalías positivas- hidrocarburos más ligeros (predominio del Pb y el Zn). Las referidas anomalías residuales tonales permiten no solo una cartografía muy aproximada de los posibles reservorios, sino, también, la planificación argumentada de los trabajos de verificación terrestre mediante el **Complejo Redox**. La efectividad geológica demostrada, hasta la fecha, para este tipo de escenario esta en el orden del 80-90%.

Los escenarios aerogeofísicos no convencionales, por su parte, guardan relación con el uso de índices integrados de probada efectividad geológica implementados en diferentes campos físicos, siendo de los más conocidos, los escenarios aerogammaespectrométricos.

Las características del patrón aerogammaespectrométrico (AGE) observado sobre una ocurrencia gaso-petrolífera son las siguientes: Patrón central-periférico, conformado por valores disminuidos de potasio coincidentes con valores de fondo de thorio en el área productora. En la periferia, ocasionales máximos de potasio, relacionados con escapes de metano en la zona de fuga (límite agua-petróleo), coincidentes con valores de fondo de thorio. Para el índice integrado K/eTh es, entonces, característico un mínimo central con ocasionales máximos periféricos. El referido comportamiento anómalo tiene su fundamento en los siguientes aspectos, según [6]: La oxidación microbiana de los hidrocarburos ligeros que alcanzan la superficie producen iones hidronium ( $H_3O^+$ ) en las aguas subterráneas. Estos parece que reemplazan en una solución ácida a los iones potasio de las arcillas (fundamentalmente, illita) y los liberan para ser lixiviados por las mismas aguas. Por su parte, el thorio permanece estable en su distribución original en los minerales pesados insolubles. De esa forma, se hace evidente que la relación K/eTh





resulta informativa del medio afectado por el proceso antes descrito. No obstante, la efectividad geológica demostrada en sus múltiples aplicaciones gaso-petrolíferas en Cuba, esta solo en el orden del 50-65%. La principal limitación que se señala a este tipo de escenario es la influencia de las variaciones en la litología (con la especial afectación por la presencia de suelos ferruginosos), la cual puede ser controlada mediante la comparación con los mapas geológicos y de suelos a la escala del levantamiento.

Finalmente, como escenario aerogeofísico convencional se empleó, para el análisis e interpretación de los datos, una Reducción al Polo del levantamiento aeromagnético del sector. La fuente de los datos aerogammaespectrométricos y aeromagnéticos utilizada en este trabajo [4] considera líneas de vuelo con distancia de 500 m y altura de vuelo 70 m.

### **Sobre la metodología de los trabajos con el *Complejo Redox***

Para la medición in situ del Potencial Redox en suelos (Uredox) se utilizan dos electrodos conectados a un milivoltímetro digital de alta impedancia de entrada (sensibilidad 0.1 mV): uno inerte de platino, y otro de referencia de cobre (electrodo no polarizable- comercial), ubicados inmediatamente próximos dentro de un hoyo de 10 - 30 cm de profundidad. La comunicación iónica que cierra el circuito se garantiza a través de la cerámica porosa del electrodo de referencia. Las mediciones con el dispositivo descrito tienen un comportamiento transiente, determinándose el potencial mediante un algoritmo a partir de varias lecturas con una diferencia de tiempo entre ellas constante. La calidad de las observaciones de Potencial Redox se evalúa a partir del error absoluto en la determinación del potencial, considerando un 10% de mediciones de repetición efectuadas en los mismos hoyos utilizados para las mediciones ordinarias. La precisión aceptada para las aplicaciones descritas no debe superar los 10 - 15 mV.

La medición de la Susceptibilidad Magnética (Kappa) se realiza con un kappámetro KT-5 (sensibilidad  $1 \cdot 10^{-5}$  SI), efectuando varias lecturas en el hoyo las cuales se promedian. La calidad de las observaciones de campo se evalúa a partir del error relativo en la determinación del valor medio de Kappa, considerando un 10% de mediciones de repetición en los mismos hoyos. La precisión aceptada no debe superar el 10 - 15%.

Como las mediciones se realizaron en más de un perfil, solo el 30-50% del total de las muestras tomadas de los puntos de observación se sometieron al Análisis Químico de elementos metálicos. Las determinaciones de la Reflectancia Espectral en muestras no pudieron efectuarse por rotura del equipo de medición.

En la Pedogeoquímica se utilizan digestiones convencionales y la Espectroscopia con ICP o el Análisis por Absorción Atómica, o ambos, como es el caso del presente trabajo. Los análisis químicos fueron realizados en el Laboratorio Central de Minerales J. I. del Corral y en el CEINPET.

Los datos de campo del **Complejo Redox** son procesados con el **SOFTWARE REDOX**, elaborado especialmente para este complejo de técnicas, el cual se vincula con otros sistemas profesionales como MICROSOFT EXCEL, SURFER e ILWIS, para las salidas en forma de gráficos por perfil, planos de isolíneas y el acceso a imágenes (Escenarios Landsat y aerogeofísicos). Las bases de datos son creadas en ACCESS y se convierten al formato XYZ.



### Sobre la Geomorfología

El material utilizado para el análisis morfométrico estuvo integrado por las hojas topográficas del ICGC a escala 1:10 000 del sector de los trabajos. El procesamiento consistió en una separación regional-residual manual a partir de las curvas de nivel, con el fin de identificar y cartografiar una morfoestructura positiva manifestada en el área.

### RESULTADOS

#### Sobre los Escenarios a Distancia

El Escenario Satelital, cuya fuente es una imagen Landsat TM, revela una anomalía tonal negativa (propia de hidrocarburos con naturaleza pesada) de contornos irregulares, elongados en la dirección NE, y dimensiones aproximadas de 0.95x1.1 km, ubicada sobre la parte centro-occidental del sector de los trabajos (Figura 1).

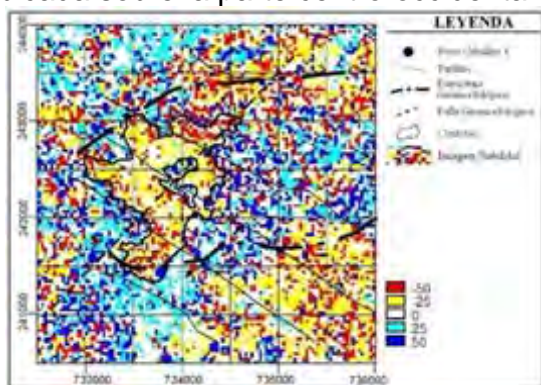


Figura 1. Escenario satelital del sector de los trabajos.

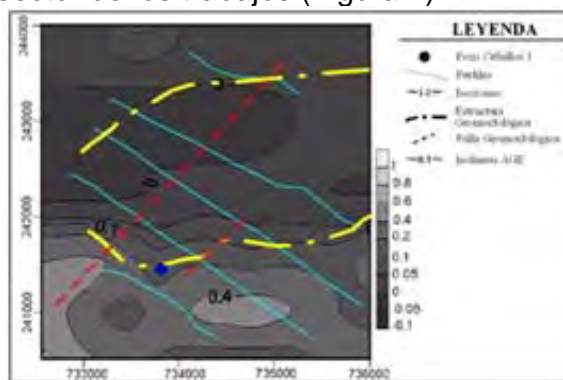


Figura 2. Escenario AGE del sector de los trabajos.

En su centro exhibe una pequeña anomalía positiva la cual puede atribuirse a un escape gaseoso. Con fines comparativos, en la misma figura, se exhibe el contorno de la morfoestructura positiva revelada, los perfiles de medición y la posición del pozo Ceballos 1. La morfoestructura encierra, en su porción occidental, a la anomalía satelital la cual es atravesada por su centro por una falla NE, sugiriendo que esta pudo constituir la vía para la migración del hidrocarburo entrampado. El pozo Ceballos 1, por su parte, se localiza en el extremo meridional de la anomalía satelital y fuera del límite Sur de la morfoestructura, sugiriendo una posible mayor perspectiva gaso-petrolífera hacia el interior del sector de los trabajos.

El Escenario AGE (Figura 2.) muestra un cuadro anómalo en el que se destaca, en el límite Norte del sector, un amplio mínimo de dirección latitudinal y dimensiones 4.8x1.2 km, cuya naturaleza, a juzgar por sus características espaciales y de contorno, parece ser litológica (probablemente, suelos ferruginosos). También, con fines comparativos, en la misma figura, se exhibe el contorno de la morfoestructura positiva revelada, los perfiles de medición y la posición del pozo Ceballos 1. Como puede observarse en la figura, el límite Sur de la morfoestructura coincide con un notable escalón del campo AGE.

### Sobre la Geomorfología



Desde el punto de vista geomorfológico, el área se identifica por una morfoestructura positiva de dirección sublatitudinal ( $Az=80^\circ$ ) y dimensiones  $3.6 \times 1.65$  km, cuyos límites Sur y Norte coinciden con cañadas, las cuales parecen ser el reflejo de fallas regionales (Figura 3.).

El límite Sur coincide con un escalón gravimétrico, aeromagnético y aerogammaespectrométrico, revelando una falla detectada mediante balanza de torsión en la década de los 60, la cual fue referida como la posible continuación de la Falla Cristales. Al propio tiempo, la morfoestructura es atravesada en su porción occidental por una falla de rumbo NE ( $Az=45^\circ$ ), la cual intercepta, por su centro, a la anomalía satelital indicadora de la presencia de hidrocarburos. Por el carácter práctico-informativo que representa esta morfoestructura, en su papel de reflejo de la posible trampa estructural, ésta, al igual que los perfiles de medición y la posición del pozo Ceballos 1, se representan en todas las figuras para fines comparativos.

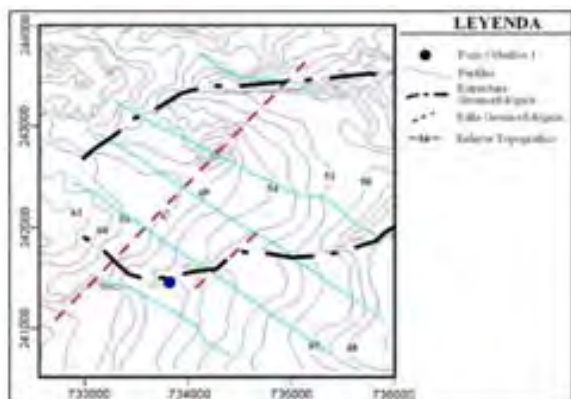


Figura 3. Interpretación geomorfológica del sector de los trabajos

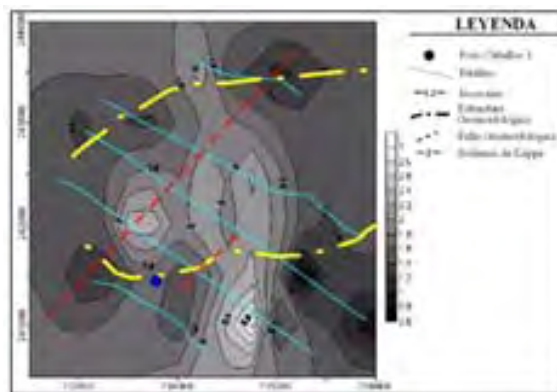


Figura 4. Mapa de Susceptibilidad Magnética Normalizada ( $Kappa_N$ ) del sector de los trabajos.

### Sobre el **Complejo Redox**

Los perfiles de medición se eligieron de manera tal que la línea central (2T) interceptara transversalmente la parte mas elevada de la estructura revelada por la sísmica y de la morfoestructura, de modo que las dos restantes líneas largas (3.0 km), quedaron aproximadamente distribuidas de forma homogénea sobre la estructura (y morfoestructura), mientras que las dos más cortas (1.5 km) y distantes tenían el propósito de mostrar la terminación del campo anómalo asociado con el presunto reservorio.

La Susceptibilidad Magnética Normalizada ( $Kappa_N$ ) exhibe un campo anómalo complicado (Figura 4.), caracterizado por incrementos del orden de 2.0-2.5, típicos de hidrocarburos con naturaleza pesada-pesada/ligera. La anomalía areal de  $Kappa_N$ , ubicada dentro de la porción centro-occidental de la morfoestructura, con igual rumbo y dimensiones de  $1.9 \times 1.2$  km, define, con buena aproximación, la cartografía del posible reservorio.

EL Potencial Redox Reducido ( $U_{redox_R}$ ) presenta un campo en extremo complicado (Figura 5.), caracterizado por su desarticulación (carácter de serrucho) y existencia de valores máximos locales, como los que identifican la parte central mas elevada del



presunto reservorio, indicativo de la presencia de un hidrocarburo de naturaleza ligera y/o de gas.

La Reflectancia Espectral Reducida ( $RE_r$ ), realizada en los perfiles centrales 1T y 2T, presenta mínimos sobre los incrementos de Ni y V.

La Pedogeoquímica, realizada en los perfiles centrales 1T y 2T, exhibe incrementos de Ni, V y Pb que tienen una excelente correspondencia espacial con los límites de la morfoestructura y con las curvas de  $Kappa_N$  y  $Uredox_R$ . La interpretación de los datos geoquímicos arroja una naturaleza pesado-pesado/ligera para el hidrocarburo, a partir de un valor del Grado Redox=15.5 (equivalente inorgánico del Grado API).

La interpretación cuantitativa final de los datos del Complejo Redox realizada para el perfil central 2T (Figura 6.), revelan una trampa contra falla (al Sur) cuya parte más alta se halla a una profundidad de  $900 \pm 100$  m (dato conciliado con la sísmica) y un posible sombrero de gas a una profundidad de  $200 \pm 50$  m.

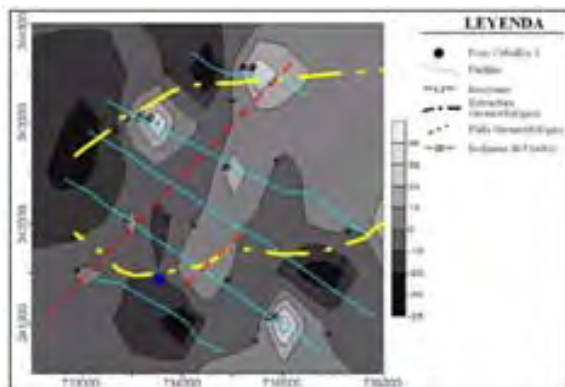


Figura 5. Mapa del Potencial Redox Reducido ( $Uredox_R$ ) del sector de los trabajos.

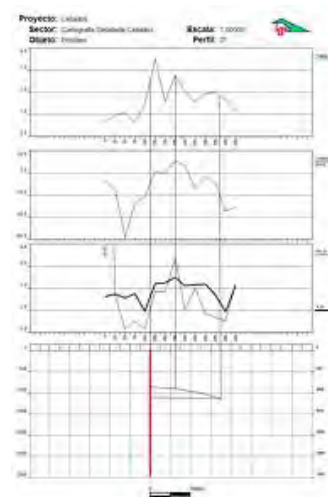


Figura 6. Interpretación cuantitativa de los datos del **Complejo Redox** en el Perfil 2T.

## DISCUSION

Los comentarios que se ofrecen a continuación se relacionan con la información reinterpretada de los métodos convencionales de exploración, en el propósito de su confrontación-complementación con los resultados alcanzados por la **Tecnología**





**Redox.** El levantamiento estructural de la Sísmica de Reflexión 2D (Figura 7.) [1], fue el elemento que decidió la realización del presente trabajo y guió, junto con la geomorfología, la ubicación de los perfiles dentro del sector. La dirección sublongitudinal del levantamiento estructural y su morfología, en general, son consistentes con una trampa tipo contra-falla, pero en su límite meridional la falla limítrofe tiene rumbo NE, no sublatitudinal, siendo este el principal elemento contrastante con respecto a la información resultante.

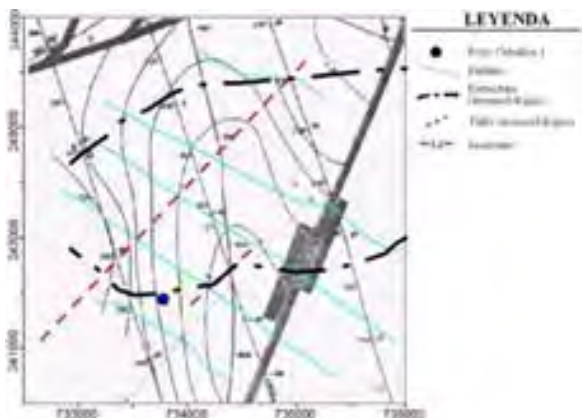


Figura 7. escenario estructural de la sísmica de reflexión 2D en el sector de los trabajos.

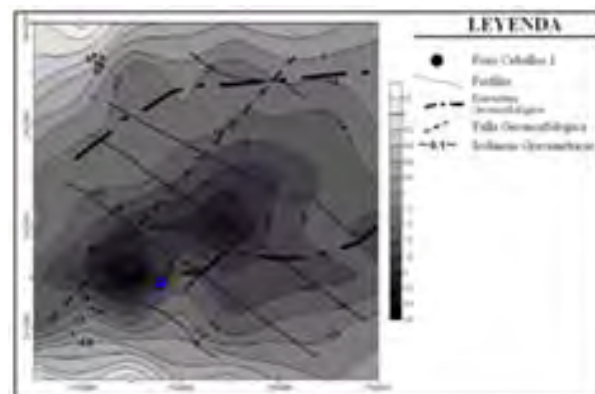


Figura 8. Mapa Gravimétrico Residual con Radio de Promediación de 2 Km del sector de los trabajos

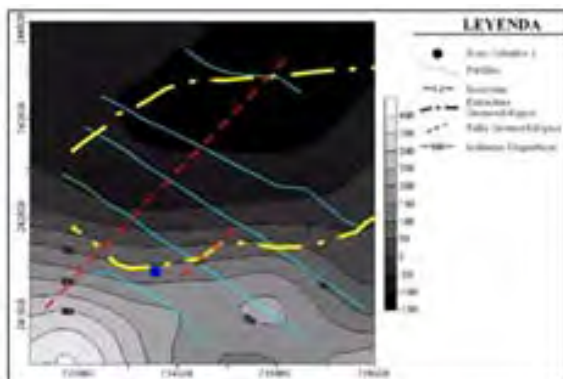


Figura 9. Mapa Aeromagnético Reducido al Polo del sector de los trabajos

La gravimetría residual con Radio de Promediación 2.0 km (Figura 8.) [3], exhibe un mínimo de -1.8 mGal, con dos epicentros más intensos, de dirección sublatitudinal y dimensiones 2.2x0.7 km, cuya posición espacial la ubica, con bastante aproximación, sobre el presunto reservorio. Aunque una explicación a tal coincidencia resulta un tanto complicada, pudiera pensarse en su asociación con una posible gran cantidad de gas en el reservorio.



El campo aeromagnético Reducido al Polo (Figura 9.) refleja, muy representativamente, una trampa estructural contra-falla, con límite Sur en un notable escalón magnético de dirección sublatitudinal, y un hundimiento suave con rumbo sublongitudinal, en cuyo límite septentrional alcanza los valores mínimos de -150 nT. En general, este campo físico es el que mejor expresa la situación estructural del sector, conforme a la información resultante.

## CONCLUSIONES

Desde el punto de vista geomorfológico, el área se identifica por una morfoestructura positiva de dirección sublatitudinal ( $Az=80^\circ$ ) y dimensiones 3.6x1.65 km, cuyos límites Sur y Norte coinciden con cañadas, las cuales parecen ser el reflejo de fallas regionales. El límite Sur coincide con un escalón gravimétrico, aeromagnético y aerogammaespectrométrico, revelando una falla detectada mediante balanza de torsión en la década de los 60, la cual fue referida como la posible continuación de la Falla Cristales. Al propio tiempo, la morfoestructura es atravesada en su porción occidental por una falla de rumbo NE ( $Az=45^\circ$ ), la cual intercepta, por su centro, a la anomalía satelital indicadora de la presencia de hidrocarburos (naturaleza pesado), pudiendo constituir la vía para la migración del hidrocarburo entrampado. De otra parte, la anomalía areal de la Susceptibilidad Magnética, dentro de la porción centro-occidental de la morfoestructura, con igual rumbo y dimensiones de 1.9x1.2 km, define, con buena aproximación, la cartografía del reservorio, el cual, a juzgar por los valores de  $K_{pN}$  y de la interpretación de los datos geoquímicos (Grado Redox=15.5), contiene un hidrocarburo de naturaleza pesado-pesado/ligero. Por otro lado, el carácter desarticulado y de máximos del Potencial Redox evidencia la presencia de gas en el reservorio. La interpretación final de los datos del **Complejo Redox**, revelan una trampa contra falla (al Sur) cuya parte más alta se halla a una profundidad de  $900\pm 100$  m y un posible sombrero de gas a una profundidad de  $200\pm 50$  m.

## BIBLIOGRAFIA

1. DIGICUPET, 2002. Mapa estructural del Bloque 21, Cuenca Central, en base de la interpretación de la Sísmica de Reflexión 2D. ONRM, La Habana, Cuba.
2. Hidalgo, H., M. Varona y otros, 1989. Proyecto No. 1144, que ampara la perforación del pozo Francisco No.3. EPEP Majagua. ONRM, La Habana, Cuba.
3. Ipatenko, V. I. y M. Rodríguez, 1981. Mapa Gravimétrico de Cuba a escala 1:100 000. ONRM, La Habana, Cuba.
4. Liubi, L. I., T. V. Martinova, y otros, 1984: Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico a escala 1:50 000 en el territorio de las provincias Ciego de Ávila y Camagüey (en ruso) (inédito). CNFG, La Habana.
5. Pardo, M., R. Stout y otros, 2003: El Complejo Redox: Estado del Arte en el 2002. Memorias del V Congreso Cubano de Geología, La Habana.





6. Saunders, D. F., J. F. Branch and C. K. Thompson, 1994: Tests of Australian aerial radiometric data for use in petroleum reconnaissance. *Geophysics*, 59, No. 3, 411-419.



## ESTUDIO REOLÓGICO DEL CRUDO A TRAVÉS DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VISCOSIDADES.

Silvia Teresa Cazañas<sup>(1)</sup>, Yanara Martínez Roque<sup>(2)</sup>, Ademís Martínez Castañeda<sup>(3)</sup>.

(1) *Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: [stcasanas@eepvar.minbas.cu](mailto:stcasanas@eepvar.minbas.cu)*

(2) *Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: [ymartinez@eepvar.minbas.cu](mailto:ymartinez@eepvar.minbas.cu)*

(3) *Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: [amcastaneda@eepvar.minbas.cu](mailto:amcastaneda@eepvar.minbas.cu)*

### RESUMEN

La necesidad de comprobar el método más eficaz para la determinación de la viscosidad del crudo en la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro, llevó a la realización de este trabajo, donde a través del estudio reológico del mismo en el Laboratorio Central, se logró caracterizar el tipo de fluido con que se trabaja, demostrando así, los errores en los que se incurre al determinar la viscosidad por los métodos Saybolt y Capilar.

Se utilizaron para este estudio, datos de viscosidades del Crudo determinados en el viscosímetro Rotacional, además del Software Microsoft Excel.

Resulta algo verdaderamente nuevo, demostrar que el petróleo crudo de los yacimientos de la EPEPC, es un fluido no Newtoniano, y por consiguiente, no es correcta la utilización de las normas por las cuales se trabaja en la actualidad para determinar la viscosidad del mismo, así como deben variarse los métodos de cálculos que en la actualidad se emplean por los técnicos de las diferentes entidades que manipulan o utilizan este crudo.

### ABSTRACT

The following work was carried out in the Central Laboratory of the Company of Perforation and Extraction of Petroleum of the Center (EPEP-C).

The necessity to check the most effective method for the determination of the viscosity of the raw one, took to the realization of this work, where through the study reológico of the same one it was possible to characterize the type of fluid with which one works, demonstrating this way, the errors in those that it is incurred when determining the viscosity for the methods Saybolt and Capillary.

They were used for this study, data of viscosities of the Raw one determined in the viscosímetro Rotacional, besides the Software Microsoft Excel.

It is something truly new, to demonstrate that the raw petroleum of the locations of the EPEPC, is a fluid non Newtoniano, and consequently, it is not correct the use of the norms for which one works at the present time to determine the viscosity of the same one, as well as the methods of calculations should be varied that at the present time they are used by the technicians of the different entities that manipulate or they use this raw one.



## INTRODUCCIÓN

Es de gran importancia para nuestra empresa la determinación de diferentes parámetros que caracterizan la reología del crudo nacional, entre ellos se encuentra la Viscosidad, la cual interviene en la desestabilización y rompimiento de las emulsiones.

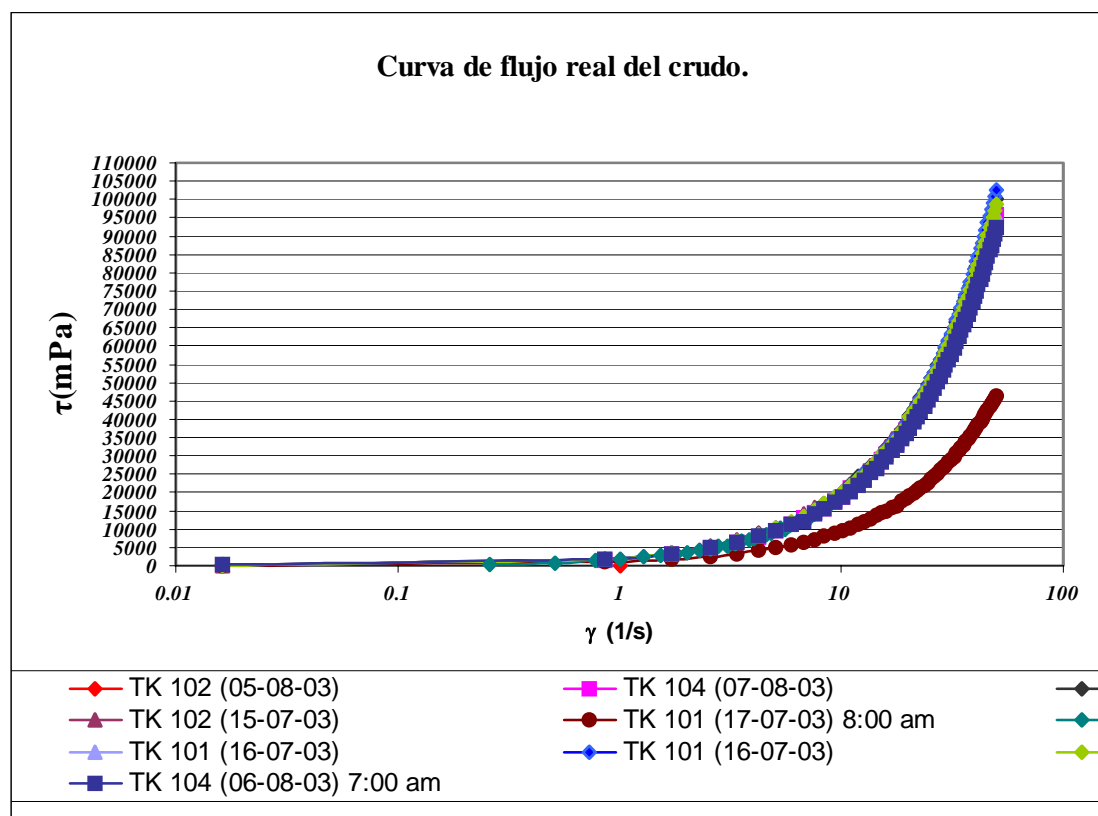
## MATERIALES Y METODOS

Para la determinación del comportamiento reológico del crudo, se realizó el estudio en el viscosímetro rotacional RheoWin Pro donde se determinó la viscosidad dinámica (Pa\*s) a una temperatura constante de 50 °C y a presión atmosférica, la curva de flujo típica, los valores de gradiente de velocidad y el esfuerzo cortante, que se obtienen como resultado de las mediciones en este equipo, los mismos permiten conocer el tipo de fluido con que se está trabajando y comprobar así, si el mismo es newtoniano o no (Anexo 1 y 2 ).

Este equipo por su parte, da resultados más exactos del comportamiento reológico del petróleo, ya que puede usarse para cualquier tipo de fluido.

Haciendo un análisis de la base de datos y de los gráficos (Anexos 1 y 2) obtenidos para cada una de las muestras, se observa como la viscosidad aumenta con el aumento del gradiente de velocidad (propio de un fluido no Newtoniano, específicamente Dilatante), aplicándole un esfuerzo cortante y manteniendo constantes la temperatura y presión del sistema.

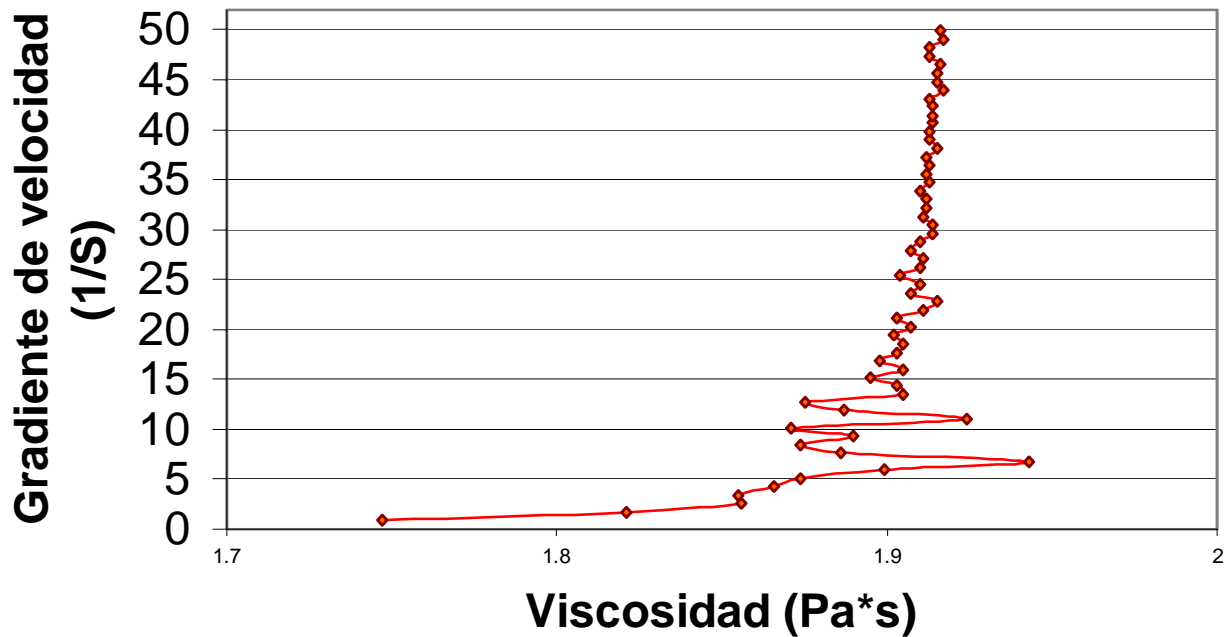
### Anexo1





## Anexo2

### Gradiente de velocidad vs. Viscosidad



## RESULTADOS

Los resultados de los análisis realizados a cada una de las muestras demuestran que el crudo de la EPEPC es un fluido de comportamiento no Newtoniano.

Teniendo en cuenta el comportamiento de la viscosidad del crudo con respecto al gradiente de corte y el esfuerzo cortante se demuestra que el crudo es un fluido Dilatante.

La aplicación de las Normas que se utilizan para la determinación de la viscosidad del crudo en la EPEP – Centro no es correcta de acuerdo con el tipo de fluido.

## DISCUSION

La viscosidad es una medida de la resistencia que ofrece el fluido a su deformación. Esta resistencia es producida por fuerzas de fricción interna entre las capas adyacentes del fluido en movimiento. Existen dos tipos de viscosidad, la cinemática y la dinámica.

La viscosidad cinemática es la que se ocupa de la geometría del sistema, de la velocidad y aceleración del fluido sin tomar en cuenta las fuerzas que originan el movimiento, y la viscosidad dinámica estudia las fuerzas que actúan sobre el fluido y, por consiguiente, la aplicación de la Ley de Newton para definir el movimiento.



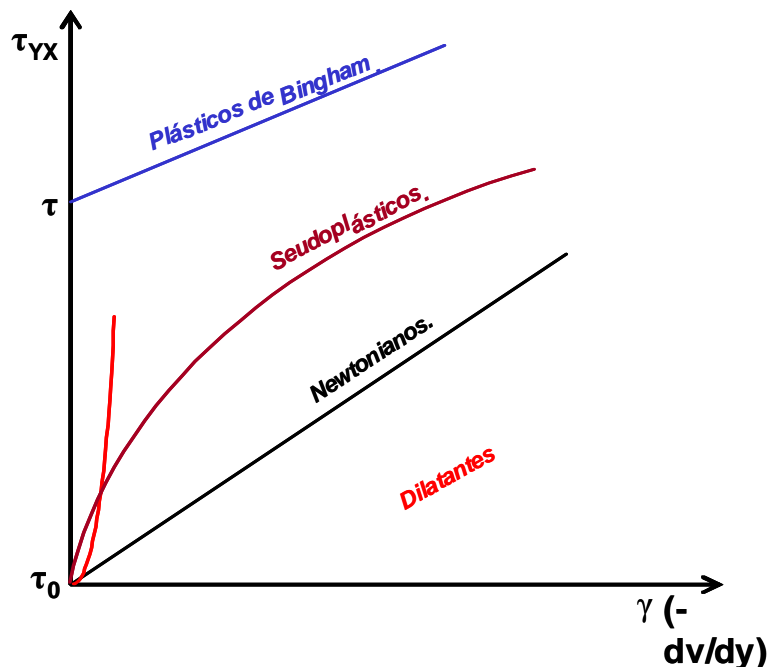
Para los fluidos newtonianos, es decir, fluidos reales que cumplen con la Ley de Newton [ $\tau_{yx} = \mu * (-dv_x / dy)$ ], la viscosidad es independiente del gradiente de velocidad y es solo función de la temperatura y la presión.

La Viscosidad Cinemática (cSt) se determina en el laboratorio a través de los Viscosímetros Capilar y Saybolt, los cuales, sólo pueden usarse para fluidos que cumplan con las leyes de Newton, estipulado así en las Normas (ASTM D-445-97 y ASTM D-88-94), respectivamente. Actualmente en la empresa, los análisis de viscosidad se determinan basados en estas normas.

La viscosidad en los fluidos no newtonianos, es decir, fluidos reales que no cumplen con la Ley de Newton, es función de la temperatura, de la presión y del gradiente de velocidad. A temperatura y presión constantes, la viscosidad de estos fluidos varía con el gradiente de velocidad de diferentes formas, por lo que se clasifican en :

Anexo3

- Seudoplásticos: Líquido cuya viscosidad disminuye con el aumento del gradiente de velocidad y comienza a fluir, cuando se les aplica un esfuerzo cortante  $\tau_{yx}$ .
- Dilatantes: Líquidos en los cuales la viscosidad aumenta con el aumento del gradiente de velocidad, y al igual que los seudoplásticos fluyen para un esfuerzo cortante mayor que cero ( $\tau_0 > 0$ ).
- Plásticos de Bingham: Materiales que para que se comporten como



fluidos hay que romper su estructura. Estos materiales comienzan a fluir para  $\tau > \tau_0$ , donde  $\tau_0$  es el esfuerzo cortante inicial que se requiere para romper su estructura. Cuando comienzan a fluir, la viscosidad disminuye con el aumento del gradiente de velocidad.

## CONCLUSIONES

Es necesario comenzar a utilizar viscosímetros rotacionales para medir la viscosidad del crudo, y así obtener resultados reales y más exactos.



## BIBLIOGRAFIA

1. Norma ASTM Designation: D88-94. "Standard Test Method for Crude Oil by Distillation"
2. Anaya, A., Aguilar, A. y Amaro, E. "Optimize Pipeling Desing for Non-Newtonian Fluids". Chemical Engineer Progress.[en línea].  
Disponible en:<http://www.cepmagazine.org>  
[Consulta: Marzo 2003].
3. Becker, P., "Emulsion Theory and Practice", American Chemical Society 1955.
4. Bonsbach Paul L. "The how and why of emulsions". Edition 1970.
5. BYCOSIN A.B. "Chemical, caracteritation countermeasures of troubles in front the asphaltene". BYCOSIN conference. Cuba 1998.
6. LIPEZA. "Tratamiento de emulsiones agua petróleo". Manual de información técnica, Area petróleo. Sección I. Capítulo Unico,2002.
7. Manning, F.S. and Thompson, R.E. Oilfield Processing of Petroleum. Volume two: Crude oil. Penn Well Publishing Company. Tulsa, Oklahoma. 1991.
8. Perry, R.H. and Breen, D.W. Chemical Engineers` Handbook. Mc. Graw – Hill Incorporation. Sexta Edición. 1999.
9. Rodguez, Jorge, A. "Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería". Universidad Tecnológica Ncnal. ( Soporte electrónico). Argentina.
10. Roger, Gilmont y Colaboradores. "Liquid Viscosity Correlations for Flowmeter Calculations". Chemical Engineer Progress. October 2000.  
Disponible en: <http://www.cepmagazine.org>  
[Consultado: 20 abril 2003].
11. Sámano, Diego A. "Mecánica de los fluidos "(soporte electrónico). México Abril, 2002.
12. Schramm, Laurier L. "Emulsions Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry". Published by the American Chemical Society.1992.
13. Smith, H.Vernan and Kenneth E Arnold. "Crude oil emulsions". 1987.











## NUEVO MAPA DE MANIFESTACIONES SUPERFICIALES Y SOMERAS DE HIDROCARBUROS Y AGUAS SULFUROSAS DE LA REPÚBLICA DE CUBA, ESCALA 1:500 000

**Pedro Valdés Pino<sup>(1)</sup>, Evelio Linares Cala<sup>(1)</sup> y Lourdes Miranda Góngora<sup>(1)</sup>**

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, calle Washington N0.169 esquina a Churrucá, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. ZIP 12 000, E-mail: [valdespino@ceinpet.cupet.cu](mailto:valdespino@ceinpet.cupet.cu)

### RESUMEN

Teniendo como fuente de información, las fichas de la ampliación del proyecto de investigación “Guía Práctica para el Estudio en el Terreno de Localidades Geológicas de Interés para las Investigaciones Petroleras en la República de Cuba”, se creó una base de datos con más de 200 áreas o localidades donde existen manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos, la mayoría de las cuales han sido muestreadas con la finalidad de estudios geoquímicos. Las áreas o localidades, se situaron sobre el Mapa de Dominios Paleogeográficos (DP) y Conjuntos Petrotectónicos (CP) a escala 1:500 000. Adicionalmente para ilustrar, en los bordes del Mapa se presentan Tablas con los nombres de las manifestaciones, tipos de hidrocarburos, coordenadas Lambert y Geográficas además de las provincias. También, se muestran algunas fotografías seleccionadas para cada región como son las de singulares salideros de gases en Santa Clara y rocas bituminosas y petróleos ligeros en la Provincia de Pinar del Río. Este mapa tiene como novedad, que las manifestaciones se relacionan con los DP y CP, a diferencia del anterior que se hizo teniendo como base las Unidades Tectonoestratigráficas y cuerpos geológicos, adicionalmente se destacan nuevos descubrimientos de manifestaciones comprobadas en los años 2003 y 2004.

Una vez más, se ratifica la regularidad de que cerca de los yacimientos descubiertos en rocas del DP de Margen Continental, abundan las manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos, lo que hace que otras áreas no exploradas y con igual situación geológica, resulten atractivas para futuras búsquedas del petróleo en Cuba.

### ABSTRACT

In base of information obtained from the filing cards of the amplified researching Project N0.2130 “Practical Guide for Field Studing of Interesting Geological Locaties for Oil Researching in the Republic of Cuba”, it was created a database with more than 200 areas where surface and shallow shows of solid, liquid and gaseous HC, the majority of which had geochemical purposes. The areas or localities are shown in the Paleogeographical Dominions Map (PD) and Petrotectonic Unities (PU) scale 1:500 000. For illustrating, in the Map borders are Tables of the shows, HC types, Lambert and Geographical coordinates, besides the provinces. Also are shown some selected photographs for each region, like the are from singular gas springs in Santa Clara and bituminous rocks, light oils in Pinar del Río and anothers.

This map has the novelty of relating the shows with PD and CU, differing from the former, based in Tectonostratigraphic Unities and geological bodies. In the map are shown new discoveries of shows verified in 2003 and 2004 years.

Like evidence, the majority of shows are related with PD outcrops from the Continental Margins or in deep places of these.

Once more, it is ratified the regularity that near the oil fields discovered in Continental Margin DP rocks, are abundant the HC surface and shallow shows, and because of this, another not explored areas with identical geological situation, are atractives for future oil explorations of Cuba.

## INTRODUCCIÓN

El primer intento de hacer un registro de las principales manifestaciones de hidrocarburos de Cuba data del año 1943, cuando por el Decreto Presidencial N0.1429 de fecha 6 de Mayo de ese año, fue creada una Comisión Técnica de Investigación de Yacimientos Asfaltíferos, dirigida por Jorge Brodermann y otros, 1945.

Con anterioridad, en varios mapas geológicos de distintas épocas, se situaban localidades con aisladas manifestaciones de hidrocarburos. Al comienzo de la década de los noventas, los autores del presente trabajo presentaron la primera versión del Mapa de Yacimientos y Manifestaciones de Asfaltita, Petróleo y Aguas Sulfurosas de la República de Cuba (Linares y otros, 1991) complementándose años más tarde con una investigación sobre las manifestaciones superficiales de hidrocarburos en Cuba y sus relaciones con las Unidades Tectonoestratigráficas y yacimientos gasopetrolíferos descubiertos (Linares, E., 1999).

Las manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos, se relacionan mucho espacialmente con fuentes de aguas sulfurosas y los yacimientos petroleros descubiertos, ellas están densamente distribuidas en las rocas del Dominio Paleogeográfico del Margen Continental especialmente donde afloran las Unidades Tectonoestratigráficas (UTE) Camajuaní, Placetas, Sierra del Rosario y La Esperanza o donde ellas subyacen a mantos de otras unidades tectonoestratigráficas y geológicas. En menor proporción, se conocen manifestaciones en las rocas ofiolíticas y en los Conjuntos Petrotectónicos (CP) que caracterizan las Cuencas Superpuestas.

La idea de hacer una base de datos y mapa de ubicación de las manifestaciones de hidrocarburos, surgió al concluirse el Proyecto 2130 del Centro de Investigaciones del Petróleo "Guía Práctica para el estudio de las Localidades de Interés para las Investigaciones Petroleras en la República de Cuba".

Como resultado de esa pesquisa, se presentaron cerca de 800 localidades interesantes, muchas de las cuales resultaron salideros superficiales y someros de hidrocarburos y aguas sulfurosas. Estas manifestaciones atrajeron la atención y sirvieron de incentivo, para una gran parte de las primeras actividades de perforación en Cuba. Sin embargo, posteriormente no se les prestó atención, incluso se llegaron a considerar indicios desfavorables para encontrar petróleo, porque se decía que eran testimonio de la destrucción de los yacimientos.

Los autores han observado, que las manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos, son frecuentes en las inmediaciones de los yacimientos cubanos. Se conocen varios ejemplos en otros lugares del mundo, donde los geólogos petroleros encontraron petróleo guiados por salideros superficiales. La ocurrencia de manifestaciones superficiales en la parte sureste del Valle Medio del Magdalena en Colombia, indujeron a exitosas pesquisas, porque se consideraron que eran la evidencia más directa de su presencia en el subsuelo (Cáceres, 1984).

Puede decirse que la historia del petróleo de Venezuela comenzó en la región de Maracaibo, donde se conocían extensos salideros superficiales (menes), utilizados hace varios siglos. El asfalto procedente de los mismos, fue ampliamente utilizado por los filibusteros que asolaban las posesiones españolas del área del Caribe. Más tarde en

1878, la Compañía Petrolera de Táchira explotó en Los Andes Venezolanos pequeños pozos de petróleo ligero que se refinaba artesanalmente para alumbrado de poblaciones vecinas. El primer campo descubierto en la Cuenca de Maracaibo fue el Mene Grande ubicado en la parte oriental del Lago con el Pozo Zumaque N0.1 perforado en el año 1914. Ya en 1917 se tendió un oleoducto hasta San Lorenzo. Los menes, La Rosa, El Mérito, El Fotumo, Río de Oro y otros de la Cuenca de Maracaibo, sirvieron de incentivo para la exploración en el occidente de Venezuela. Se ha querido con estos ejemplos, significar la importancia que se presta a los salideros superficiales y someros de hidrocarburos y los autores también ven una asociación con las aguas sulfurosas, minerales y termales en el caso de Cuba.

Los geólogos de las compañías petroleras que realizan investigaciones en conjunto con Cuba, también solicitan se les muestren estos surtidores activos en la superficie. Los geoquímicos toman de ellos muestras que tras varios análisis, permiten hacer comparaciones y clasificar familias de petróleos.

Esto originó la idea de hacer el presente inventario de localidades y situarlas en un mapa de contenido geológico, preparado recientemente por uno de los autores y un colectivo de colaboradores. La visualización del Mapa, permite fundamentar la tesis que sustenta la idea sobre una regularidad notada en Cuba, en cuanto a la existencia de manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos cerca de los yacimientos gasopetrolíferos que se han descubierto en los últimos años. Por ello se cree, que existen otras zonas donde todavía no se han realizado grandes campañas de exploración y que tienen iguales premisas las que sugieren nuevas oportunidades. El trabajo que se presenta sin lugar a dudas, colaborará con estos objetivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para hacer la base de datos en un programa de la Aplicación Excel de Microsoft, se revisaron 760 fichas de localidades de interés para las investigaciones geológicas petroleras en la República de Cuba, seleccionando sólo aquellas que contenían los objetivos en estudio. Las fichas reseñan el nombre de la localidad, la ubicación geográfica, la forma de acceso, el objetivo geológico, la descripción del objetivo, datos complementarios y las fuentes para ampliar la información. De aquí se extrajeron: N0. de ficha, nombre de la localidad, provincia, coordenadas Lambert y Geográficas, hoja topográfica ICGC, tipo de manifestación.

Se creó la leyenda partiendo de la necesidad de contar con una simbología que representara los puntos de interés petroleros focalizados a los hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos y a las aguas sulfurosas. Se creó la biblioteca de símbolos Oil & Geosite que se sustenta sobre la Plataforma MapInfo, aunque el trabajo para la elaboración de los mismos, se realizó haciendo uso del Programa Corel Draw.

Esta simbología fue dividida en cinco grandes grupos:

- Manifestaciones someras y superficiales de hidrocarburos.
- Pozos perforados para petróleo.
- Pozos de mapeo, estructurales e hidrogeológicos.
- Pozos criollos (laboreos mineros).
- Otros.

A su vez cada uno de estos grupos se subdivide teniendo en cuenta su contenido, ya sea de gas, petróleo, agua o combinación de cualquiera de estos elementos.



Con la creación de esta biblioteca se logra una homogeneidad en la forma de representación de estos elementos, lo que ayuda a una mejor lectura e interpretación del contenido del mapa.

## RESULTADOS

En la base de datos y Mapa, se subrayan del Oeste hacia el Este de Cuba los resultados siguientes: en la provincia de Pinar del Río ocurren 20 manifestaciones superficiales de hidrocarburos y 8 de aguas sulfurosas. Indudablemente que al Norte de esta provincia, especialmente en las rocas del Margen Continental que afloran en la Sierra del Rosario, existen las más nutridas manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos de Cuba. En ocasiones, se advierten localidades que en realidad representan sólo un ejemplo de numerosas manifestaciones del área. Similarmente sucede con decenas de pozos someros para cartografía geológica que manifestaron petróleo en el proceso de su perforación.

En esta provincia, existen hidrocarburos sólidos (asfaltita) como en la antigua Mina de Cacarajícara, petróleo en las fracturas de las rocas y también aquellos que brotan fluidos como por ejemplo los del Burén (Figura 1) donde se vé el petróleo ligero en un arroyo afluente del Río Tortugas y los del Río Santa Cruz por la zona de Rangel. Hay singulares exposiciones de petróleo en las arenas bituminosas de Playa Las Canas al Norte de Pinar del Río (Figura 2), así como reporte de gas en la zona marina del Norte de la provincia cerca de Los Cayos.

En las provincias habaneras se enumeran 37 manifestaciones de hidrocarburos y 4 surtidores de aguas sulfurosas. Se destaca la franja septentrional donde abundan las asfaltitas y manifestaciones de hidrocarburos fluidos. Debe resaltarse que aquí se descubrieron y se explotan los yacimientos gasopetrolíferos de la Franja Norte de Crudos Pesados (FNCP).

El coto de asfaltitas de Mariel se representa por la Mina Manuela, pero en realidad son decenas de vetas y acumulaciones de grahamita. Igual panorama se observa en la zona de Bejucal que se ha ejemplificado con las Minas Loreto, San José y Angela Elmira, pero es un coto con numerosos pozos y laboreos mineros que mostraron asfaltita.

Otros sectores donde imperan las asfaltitas y petróleo son San Juan Bautista y Cayajabos, Bacunayagua – Guanabacoa y en la cabecera del Río Banes. Cerca del Yacimiento Martín Mesa y al Oeste del mismo, mana superficialmente petróleo denso en las localidades La Tomasita y Estrada. Al Este son notables los salideros Tres Palmas y Guaicanamar entre otros. Se relacionan fuentes de aguas sulfurosas en Santa María del Rosario y otras zonas.

Hacia el oriente, por la zona Norte de la provincia de Matanzas, existen abundantes asfalteras y presencia de asfaltita. Resaltan también, las rocas asfálticas de Angelita y Peñón con contenidos de asfalto entre 5 y 38 % en rocas carbonatadas arenosas del Eoceno Medio. En la Bahía de Cárdenas y cayos interiores, aparecen importantes yacimientos de asfaltita que se explotaron desde el siglo XIX; debe observarse que estas revelaciones de hidrocarburos, están muy cercanas a los mayores yacimientos gasopetrolíferos descubiertos en Cuba en la zona de Varadero. Hacia el Sur de Matanzas,



se notan manifestaciones por la zona de San Miguel de los Baños donde también hay importantes manantiales de aguas sulfurosas.

En la franja septentrional de la provincia de Villa Clara y en menor proporción en la parte meridional, se reportaron hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos en la superficie y a profundidades someras. Un excelente exponente de asphaltitas del tipo gilsonita se explotó durante muchos años en Mina Crispín cerca del poblado Buenavista; son impresionantes los salideros de gas al Oeste de la Ciudad de Santa Clara y en el Río Palmas así como las chapapoterías de Santa Clara y Mata entre otras.

Geológicamente, las revelaciones de hidrocarburos están mayormente asociadas a rocas del Dominio Paleogeográfico del Margen Continental, imperando aquellas de las Unidades Tectonoestratigráficas Placetas y Camajuaní. Es de suponer que las que ocurren en la Asociación Ofiolítica o las de las Cuencas Superpuestas, proceden de los entrapamientos en mantos del DP del Margen Continental emplazados en la profundidad. Así se puede suponer que sea, en los casos de las manifestaciones en San Juan de los Yeras, La Corona, Oliver y las del Sur y alrededores del poblado de Placetas. Impresionantes por su valor medicinal son los manantiales de aguas sulfurosas de Elguea y Menéndez que además son aguas termales, muy útiles para baños medicinales.

En la provincia de Sancti – Spíritus surgen en decenas de lugares los hidrocarburos. Son notables las llamadas gaseras de Jíquima de Gómez muy cercanas al Yacimiento de Jarahueca ya casi agotado. Al revisar las fichas de manifestaciones someras de esta región, llamó la atención que en las perforaciones realizadas para establecer las causas de las doble anomalías de Uranio y Thorio, mostraron como uniformidad en su ocurrencia, la presencia de hidrocarburos en los núcleos cortados, independientemente del tipo de litología, unidad litoestratigráfica o Unidad Tectonoestratigráfica del lugar del emplazamiento. En esta región se agrupan las manifestaciones en varias zonas y subzonas, distinguiéndose el Coto de Bellamota donde además de asphaltitas hay petróleo grueso, el sector de las Canteras de Calienes y la zona de Meneses – Yaguajay. Además de aguas sulfurosas se conocen los Balnearios de aguas termales minerales de Mayajigua.

Si se observa el Mapa de Dominios Paleogeográficos, Conjuntos Petrotectónicos y su cubierta del Neoaútctono, se notará que esta última predomina en áreas de la provincia de Ciego de Avila. De aquí se desprende, que por ser muchas de sus rocas arcillosas, constituyen un sello para la salida de los hidrocarburos. De manera que en la provincia de Ciego de Avila, las manifestaciones de hidrocarburos y aguas sulfurosas sólo se reconocen en el sector norteño donde afloran las rocas del Margen Continental y las de la Asociación Ofiolítica. Tal caso sucede en los pozos someros perforados en los alrededores del poblado de Tamarindo, Municipio de Florencia y en algunas asphaltitas en la zona de Los Ramones en el límite con la provincia de Sancti – Spíritus.

Como singularidad, se descubrió agua sulfurosa con manifestación de petróleo en la localidad de Veracruz cerca del poblado de Violeta.

A los afloramientos del DP Margen Continental en la provincia de Camagüey se refieren las rocas de la UTE Remedios de la Sierra de Cubitas en el Norte de la provincia y las de la UTE Placetas en la Sierra de Camaján. En este último lugar, se conoce un pozo criollo con una importante manifestación de petróleo grueso o asfalto. Rocas asfálticas también

afloran al Norte de la Sierra de Camaján en una cantera llamada El Infierno. Algunos pozos para búsqueda de asfaltita y para cartografía geológica, reportaron manifestaciones de petróleo en los núcleos. Datos muy importantes se han obtenido de dos localidades al Sur de Camagüey, donde se reportó petróleo en un pozo que se hacía para buscar agua, en San José de Palomares y en una pequeña cantera en la Finca San Carlitos. Estos reportes se ubican en rocas de Cuencas Superpuestas del Arco Volcánico del Cretácico.

Los salideros superficiales del Norte de la provincia de Las Tunas son probablemente los que primero se conocieron en Cuba. Ya desde 1515 se usaban para calafatear embarcaciones (Brodermann y otros, 1945). Se trata del llamado Coto de Maniabón por la zona de Puerto Padre que lo forma el Grupo "La Farola" con numerosos predios, siendo los más importantes Templanza y Sabarí. En el mapa se muestran algunas de las manifestaciones superficiales y someras más sobresalientes pero en el área pueden ubicarse decenas de estas. Aquí existen pozos criollos que se hicieron para agua y se contaminaron con petróleo grueso.

En otros laboreos de hasta 5 metros de profundidad se explotaba en el pasado el petróleo grueso con producciones diarias de hasta 20 barriles. En algunos arroyos de la zona se observan burbujas de hidrocarburos.

Una singular manifestación de hidrocarburos se reportó en la Finca Pedernales cerca de Amancio Rodríguez en rocas vulcanógenas del Cretácico, en épocas pasadas de esta zona Sur no se conocían datos probados.

De la provincia de Holguín se conocían muy pocas noticias de salideros de hidrocarburos. El más notable era el reportado en Macabí al Sur del poblado de Banes donde los gases hidrocarbureados servían de combustible a los mecheros del ingenio azucarero Boston en los comienzos del pasado siglo. Sin embargo, en los últimos trabajos geológicos en esa zona, se han conocido afloramientos de aguas sulfurosas y petróleo en pozos criollos y de cartografía geológica. Son notables los de la zona de Velazco y los de Santa Lucía, cerca de la Playa Guarda La Vaca.

Todavía no se han agotado las posibilidades de encontrar nuevos brotes en otras zonas. En un pozo criollo en la localidad La Palmita se encontró petróleo de excelente calidad en las rocas de la Cubierta Sedimentaria del Arco Volcánico del Cretácico. Al noreste de Floro Pérez, en el Caserío Arroyón, se ubica un pozo criollo para agua en cuyas escombreras se determinó petróleo grueso en las fracturas de rocas vulcanógeno - sedimentarias del Arco Volcánico Cretácico (Datos del 2004).

De la vertiente Norte de la Sierra Maestra, se han comunicado sólo singulares manifestaciones gaseosas por la zona de Yara y petróleo en Los Moscones, provincia de Granma. Un panorama similar ofrece la provincia de Santiago de Cuba, donde hasta el presente se ha comprobado una manifestación de gases de hidrocarburos en un pozo tubular somero en el poblado de El Cobre.

## DISCUSIÓN

En las Tablas 1 hasta la N0.9 se verifica que es en las rocas del Margen Continental de las provincias occidentales y centrales donde imperan las manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos.



Paralelamente, dominan también las aguas sulfurosas y termales. Además en esta región, se explotan importantes yacimientos de petróleo y gas en rocas de este Dominio Paleogeográfico: Varadero, Boca de Jaruco, Yumurí, Puerto Escondido entre otros.

TABLA I. Relación de las Manifestaciones de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas por Provincias de la República de Cuba.

(PROVINCIA)	(MANIFESTACIONES DE HIDROCARBUROS)	(AGUAS SULFUROSAS)
PINAR DEL RÍO	19	9
LA HABANA Y CIUDAD DE LA HABANA	38	4
MATANZAS	17	6
VILLA CLARA	44	1
SANCTI - SPÍRITUS	18	1
CIEGO DE AVILA Y CAMAGÜEY	8	5
HOLGUÍN	3	1
LAS TUNAS	10	1
SANTIAGO DE CUBA	1	1
GRANMA	2	-
ISLA DE LA JUVENTUD	4	-
<b>TOTAL = 193</b>	<b>TOTAL = 164</b>	<b>TOTAL = 29</b>

Los hidrocarburos presentes en rocas de la Asociación Ofiolítica, en afloramientos de rocas del Arco Volcánico y en aquellas del Margen Continental en las provincias orientales y Camagüey, deben ser una continuidad de las manifestaciones del Norte de Cuba Central y Occidental, sólo que aquí probablemente, los Conjuntos Petrotectónicos del Dominio Paleogeográfico del Margen Continental yacen someramente o a una profundidad no muy grande.

## CONCLUSIONES

- ♦ En las provincias de Pinar del Río, La Habana, Ciudad de la Habana y Matanzas, existen decenas de manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos y aguas sulfurosas, le siguen en orden Villa Clara, Sancti – Spíritus y Las Tunas. En menor cantidad se han reconocido en las partes Norte de Ciego de Avila, Camagüey y Holguín.
- ♦ Sólo se conocen singulares manifestaciones de hidrocarburos y aguas sulfurosas en las provincias de Santiago de Cuba, Granma y en el Este del Municipio Especial Isla de la Juventud.
- ♦ Hasta el presente en los macizos metamórficos de Sierra del Purial, Sierra de Guamuhaya y en la Isla de la Juventud, no se conocen manifestaciones superficiales líquidas o gaseosas de hidrocarburos.
- ♦ En total se reflejan en el Mapa cerca de 200 localidades con manifestaciones pero muchas de ellas representan con propiedad áreas con decenas de manifestaciones en su entorno.



- ♦ El presente trabajo es el más completo que existe hasta el presente en Cuba en esta temática.
- ♦ Cuba es el país donde sus numerosas manifestaciones superficiales de hidrocarburos, no significan que son reservorios destruidos, todo lo contrario, demuestran que en gran parte se han conservado y los pequeños brotes señalan surtidores activos de una fuente subterránea, lo que se demuestra cuando se plotea la base de datos en el Mapa 1:500 000.
- ♦ Existe una estrecha relación espacial entre la presencia de manifestaciones superficiales y someras de hidrocarburos, aguas sulfurosas y termales con el descubrimiento de yacimientos de petróleo y la existencia en el subsuelo o en afloramientos de las rocas del Dominio Paleogeográfico del Margen Continental, especialmente las formadas en paleoambientes de aguas profundas, lo que se muestra en el Mapa a escala 1: 500 000.
- ♦ La distribución de las manifestaciones de hidrocarburos y aguas sulfurosas en el Mapa de DP – CP y Cubierta del Neoaútóctono, puede servir de guía para pesquisas en otras áreas que tiene similares premisas geológicas y no han sido exploradas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Brodermann, J., F. Villoch y A. Andreu, 1945. Investigación Técnica de Yacimientos Asfáltíferos de Cuba: Boletín de Minas.
- Linares, E., M. Yero y P. Valdés, 1991. Mapa de Yacimientos y Manifestaciones de Asfaltitas, Petróleo y Aguas Sulfurosas de la República de Cuba: Archivo Técnico del Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana.
- Linares, E., 1999. Las Manifestaciones Superficiales y Someras de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas en Cuba: Relaciones con Unidades Tectonoestratigráficas y Yacimientos Gasopetrolíferos. Minería y Geología Vol. XVI N0.2.
- Linares, E., 2003. Comparación entre las Secuencias Mesozoicas de Aguas Profundas y Someras de Cuba Central y Occidental. Significado para la Exploración Petrolera. Tesis Doctoral. O-1691, Archivo Técnico del Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana.

TABLA II. Relación de las Manifestaciones de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas. Provincia de Pinar del Río

(LOCALIDADES DE INTERÉS)	(Dominio Paleog)	(TIPO DE MANIFESTACIÓN)	
Playa Las Canas. Provincia de Pinar de Río.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Malas Aguas. Este de Santa Lucía.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
San Vicente. Viñales.	Margen Continental	manif. Superf.	agua sulfurosa.
Sur de Meseta de Cajalbana.	Margen Continental	pozo mapeo	petróleo y gas.
Burén. Arroyo del Río Tortuga.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Burén. Arroyo del Río Tortuga	Margen Continental	pozo mapeo	agua sulfurosa.
Sabanilla. Aguas sulfurosas.	Margen Continental	manif. Superf.	agua sulfurosa.
Los Cayos. Quiñones.	Margen Continental	pozo mapeo	agua sulfurosa.
Rancho Mar. Pinar del Río.	Margen Continental	pozo mapeo	petróleo.
Pozo Azul. Aguas sulfurosas.	Margen Continental	manif. Superf.	agua sulfurosa.
Barrio Fría, Soroa.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
San Claudio. (Pozo PE-8). Cabañas.	Cubierta Marg Cont	pozo mapeo	asfalto.
San Diego de los Baños, A. sulfurosas.	Margen Continental	manif. Superf.	agua sulfurosa.
Este de Río del Medio. Pinar del Río.	Cubierta Marg Cont	pozo mapeo	petról en fract.
Punta Mosquito. Archipiélago Los Colorados.	Cubierta Marg Cont	manif. Superf.	gas.
Bahía de la Mulata. Mcpio de Bahía Honda.	Cubierta Marg Cont	manif. Superf.	gas.
Luis Carrasco. Municipio de Bahía Honda.	Margen Continental	manif. Superf.	petról en fract.
El Venero. Mcpio Minas de Matahambre.	Margen Continental	pozo mapeo	petróleo.
Rancho Canelo. Municipio Bahía Honda.	Margen Continental	pozo mapeo	petróleo.
Río San Marcos. Municipio La Palma.	Margen Continental	pozo petról.	petróleo.
Río Santa Cruz. Municipio San Cristóbal.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Mil Cumbres. Municipio La Palma.	Margen Continental	manif. Superf.	agua sulfurosa.
Cacarajicara. Municipio de Bahía Honda.	Margen Continental	manif. Superf.	asfaltita.
Los Hoyos. Municipio Candelaria.	Margen Continental	manif. Superf.	petról en fract.
San Florencio. Municipio de Bahía Honda.	Margen Continental	manif. Superf.	petról en fract.
La Paloma. Municipio La Palma.	Margen Continental	pozo hidrogeol.	agua sulfurosa.
Río Caimito. Municipio La Palma.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Mina Castellanos. Santa Lucía.	Synrift	manif. Superf.	petróleo.



TABLA III. Relación de las Manifestaciones de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas. Provincia de Ciudad de La Habana y Municipio Especial de la Isla de la Juventud.

(LOCALIDADES DE INTERÉS)	(Dominio Paleog.)	(TIPO DE MANIFESTACIÓN)	
Cervecería La Tropical (Pedro Marrero).	Neautóctono	pozo mapeo	gas.
Pozos petroleros del Reparto Juanelo.	Cuenca Superpuesta	pozo petrol.	petróleo.
Santa María del Rosario. Hidrocarburos.	Cuenca Superpuesta	pozo petrol.	petról. y gas.
Santa Fé, Guanabacoa. Agua sulfurosa.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfaltita.
Santa María del Rosario. Agua sulfurosa.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	agua sulfurosa.
Antigua Mina Carmen o General Wood.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	agua sulfurosa.
La Chumba, Campo Florido.	Arco Volcánico K	manif. Superf.	asfaltita.
Sur del Castillo de Atarés. (Pozo Swift N0.1).	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfaltita.
Suroeste de Santa María del Rosario.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	petróleo.
Cayo Aguardiente. Municipio Isla de la Juventud.	Neautóctono	manif. Superf.	Gas
Cayo Cantiles. Municipio Isla de la Juventud.	Neautóctono	manif. Superf.	Gas
Cayo Rosario. Municipio Isla de la Juventud.	Neautóctono	manif. Superf.	Gas
Cayo Largo. Municipio Isla de la Juventud.	Neautóctono	manif. Superf.	Gas

TABLA IV. Relación de las Manifestaciones de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas. Provincia de La Habana.

(LOCALIDADES DE INTERÉS)	(Dominio Paleog.)	(TIPO DE MANIFESTACIÓN)	
Campismo El Taburete. La Habana.	Margen Continental	pozo petrol.	petróleo.
Charco Azul, en cercanías de Cayajabos.	Margen Continental	manif. Superf.	agua sulfurosa.
Mina San Francisco, veta Tramojo.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfaltita.
Mina Manuela, municipio Mariel.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
Central Abraham Lincoln.	Cuenca Superpuesta	pozo estruct.	gas.
Regalado, Tomasita.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
Estrada, Mariel.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
Los Mangos. La Habana.	Cuenca Superpuesta	pozo petrol.	petróleo
Presa La Coronela, Caimito. La Habana.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfalto.
Cabecera del Río Banes.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfaltita.
Cuatro Caminos. Bejucal.	Cuenca Superpuesta	pozo mapeo	asfaltita.
Bejucal. Pozo Estructural N0.28.	Cuenca Superpuesta	pozo estruct.	asfaltita.
Minas de asfaltitas de Bejucal.	Cuenca Superpuesta	pozo criollo	asfaltita.
La Concepción. San Antonio de las Vegas.	Cuenca Superpuesta	pozo petrol.	petróleo
Río Hondo y San Juan.	Cuenca Superpuesta	pozo mapeo	asfaltita.
Escaleras de Jaruco.	Neoaútóctono	manif. Superf.	asfaltita.
Playa del Muerto, Este de Guanabo.	Margen Continental	pozo petrol.	petróleo
Guaicanamar.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	petróleo.
Suroeste de Playa Fraile.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Madrugá. (Pozos La Paila y El Sulfuroso).	Cuenca Superpuesta	pozo mapeo	agua sulfurosa.
Las Cruces, Norte de Sierra de Camarones.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfaltita.
Cayajabos. Madrugá.	Cuenca Superpuesta	pozo petrol.	petróleo.
Arroyo Bayamo.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	petróleo.
El Encanto. SE de Puerto Escondido.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
Antiguo ramal Cayajabos.	Cuenca Superpuesta	pozo mapeo	petróleo.
La Tomasita, municipio de Mariel.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	petróleo.
Minas, mcpio de Guanabacoa.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfaltita.
Castilla, municipio de Jaruco.	Manto Arco Volcánico	manif. Superf.	asfalto.
Guanaja, municipio de Jaruco.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfaltita.
Arroyo Bermejo. Santa Cruz del Norte.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Don Mariano, mcpio de Caimito.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfalto.
Germán Rivero. municipio de Caimito.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto en fract.
Sur de Loma de Perle. Santa Cruz del Norte.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.

TABLA V. Relación de las Manifestaciones de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas. Provincia de Matanzas.

(LOCALIDADES DE INTERÉS)	(Dominio Paleog.)	(TIPO DE MANIFESTACIÓN)	
Lomas de Galindo. (Pozo Pardo N0.4).	Mantos Corteza Oceánica	pozo petrol.	petróleo.
San José del Tejar. Matanzas.	Mantos Corteza Oceánica	pozo criollo.	asfaltita.
Clavellinas (Ceja).	Mantos Corteza Oceánica	manif. Superf.	asfalto.
Santísima Trinidad. (Pozo Cejas N0.1).	Mantos Corteza Oceánica	manif. Superf.	petróleo.
Santana. Matanzas.	Mantos Corteza Oceánica	pozo mapeo	agua sulfurosa.
San Juan de Wilson, Suroeste de Cantel.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
Buenavista. Noroeste de Cantel. Matanzas.	Margen Continental	pozo criollo	asfalto.
San Miguel de los Baños.	Mantos Corteza Oceánica	manif. Superf.	agua sulfurosa.
La Unión. Provincia de Matanzas.	Mantos Corteza Oceánica	manif. Superf.	petróleo.
Noroeste de Loma Triana. Matanzas.	Mantos Corteza Oceánica	manif. Superf.	petróleo y a. sulf.
Finca Economía. Sur de Varadero.	Mantos Corteza Oceánica	pozo petrol.	petróleo.
Cayo Diana (minas de asfaltitas).	Margen Continental	pozo criollo	asfalto.
Cayo Cupey, bahía de Cárdenas.	Margen Continental	pozo criollo	asfalto.
Ruffín. Noroeste de Martí.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
San Felipe, Central Esteban Hernández.	Mantos Corteza Oceánica	pozo criollo	asfalto.
La Angelita. Matanzas.	Neoautóctono	manif. Superf.	asfalto.
El Peñón, Martí. Matanzas.	Neoautóctono	manif. Superf.	asfaltita en fract.
Río La Palma. Matanzas.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
Menéndez. Matanzas.	Margen Continental	pozo mapeo	agua sulfurosa.
Valdivieso. Matanzas.	Margen Continental	pozo mapeo	agua sulfurosa.
Menéndez, aguas sulfurosas.	Margen Continental	pozo mapeo	agua sulfurosa.
Desembocadura Río Cañas. Matanzas.	Margen Continental	pozo mapeo	asfalto.
Jagüey Grande. municipio Jagüey Grande.	Neoautóctono	pozo tubular	petróleo.

TABLA VI. Relación de las Manifestaciones de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas. Provincia de Villa Clara.

(LOCALIDADES DE INTERÉS)	(Dominio Paleog.)	(TIPO DE MANIFESTACIÓN)	
Baños de Elguea. Villa Clara.	Margen Continental	manif. Superf.	agua sulfurosa.
Quemado de Güines, manifestación de asfalto..	Cub. Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
Cantera de Jumagua, Lázaro Pentón.	Cub. Margen Continental	pozo mapeo	asfalto
Loma sin Nombre.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Las Minas, Antón Díaz (Pozo San Felipe N0.2)..	Manto Corteza Oceánica	pozo mapeo	petróleo.
Las Minas. Oeste de Santa Clara.	Manto Corteza Oceánica	pozo mapeo	petróleo.
Cantera Aguada la Piedra. Villa Clara.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Finca San Antonio (Mata).	Margen Continental	pozo criollo	petróleo.
Río Ochoita. Santa Clara.	Cuenca Superpuesta	pozo mapeo	petróleo.
Jíquima IV. Estribaciones Loma la Paila.	Mantos Ofiolitas	manif. Superf.	petról. en fract.
Loma Bonachea. Provincia de Villa Clara.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Miller. Provincia de Villa Clara.	Arco Volcánico K	pozo petró.	petról. y gas.
Finca Edelmira, Camajuaní.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto en fract.
Río Palmas. Sureste de La Vallita.	Mantos Arco Volcánico	manif. Superf.	gas.
Prudencia. 3 km al Sur de Camajuaní.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Santa Clarita.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Oeste de José María Pérez. Camajuaní.	Margen Continental	manif. Superf.	asfaltita.
El Naranjo. José María Pérez. Camajuaní.	Margen Continental	pozo petró.	petróleo y gas.
Mina Esperanza, Placetas.	Corteza Oceánica	manif. Superf.	asfaltita.
Alrededores del poblado de Placetas.	Corteza Oceánica	manif. Superf.	gas.
Central José María Pérez. SE de Camajuaní.	Margen Continental	pozo mapeo	petróleo.
Central Juan Pedro Carbó Serviá.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto
Jiquí V. Villa Clara.	Manto Ofiolitas	pozo mapeo	petróleo.
Caturla. Provincia de Villa Clara.	Manto Ofiolitas	pozo mapeo	petróleo.
Loma las Azores. Provincia de Villa Clara.	Margen Continental	manif. Superf.	asfaltita.
Zulueta. Provincia de Villa Clara.	Margen Continental	pozo petró.	petróleo y gas.
Central Chiquitico Fabregat. Villa Clara.	Margen Continental	pozo mapeo	petróleo.
Mina Crispín, Buenavista.	Margen Continental	manif. Superf.	gilsonita
Tobar, Buenavista. Villa Clara.	Margen Continental	manif. Superf.	asfaltita.
La Culebra. General Carrillo.	Margen Continental	pozo mapeo	asfaltita.
Batey Fé y La Piedra. Villa Clara.	Margen Continental	manif. Superf.	petróleo.
Mina Eloisa, Sureste de Loma Bonachea.	Manto Corteza Oceánica	manif. Superf.	asfaltita.
Arroyo Biajaca. Sureste de Rancho Veloz.	Melange	manif. Superf.	petróleo.
Cantera San Agustín. Municipio de Remedios.	Margen Continental	manif. Superf.	asfaltita.
Antigua escuela La Caridad. Mcpio Ranchuelo.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	asfaltita.
Oliver. Provincia de Villa Clara.	Manto Ofiolitas	pozo mapeo	asfalto.
La Corona. Manajanabo.	Manto Corteza Oceánica	pozo mapeo	petróleo
Estancia Vieja. Oeste de Manajanabo.	Manto Corteza Oceánica	manif. Superf.	petróleo
Oliver. Municipio de Placetas.	Manto Ofiolitas	manif. Superf.	asfalto.
La Bomba. Ranchuelo.	Cuenca Superpuesta	Pozo Mapeo	Petróleo
La Juanita. Cifuentes.	Margen Continental	Pozo Mapeo	Petróleo
Esperanza. Provincia de Villa Clara.	Cuenca Superpuesta	Pozo Mapeo	Petróleo
Ranchuelo. Provincia de Villa Clara.	Cuenca Superpuesta	Pozo Mapeo	Asfalto
Ranchuelo. Provincia de Villa Clara.	Cuenca Superpuesta	Pozo Mapeo	Petróleo
Sitiecito. Sagua la Grande.	Margen Continental	Pozo Mapeo	Petróleo

TABLA VII. Relación de las Manifestaciones de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas. Provincia de Sancti - Spíritus.

(LOCALIDADES DE INTERÉS)	(Dominio Paleog.)	(TIPO DE MANIFESTACIÓN)	
Jíquima de Gómez. Provincia de Sancti-Spíritus.	Manto Corteza Oceánica	manif. Superf.	gas.
Pedro Barba. General Carrillo.	Asociación Ofiolítica	pozo mapeo	petróleo.
Los Gil (PB-18). Barrio Pedro Barba. Cabaiguán.	Asociación Ofiolítica	pozo mapeo	petróleo.
Las Tapias de Pedro Barba. O Yac. Jarahueca.	Asociación Ofiolítica	pozo mapeo	petróleo.
Las Lajitas. Minas Arriba. Yacimiento Jarahueca.	Manto Arco Volcánico	pozo mapeo	petróleo.
Batey Colorado. Provincia de Sancti-Spíritus.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
El Tranque. Iguará.	Margen Continental	pozo mapeo	asfaltita.
La Amada, Meneses (antigua mina de asfaltita).	Margen Continental	manif. Superf.	asfaltita.
La Gloria, municipio de Yaguajay.	Margen Continental	manif. Superf.	asfaltita.
Bellamota.	Asociación Ofiolítica	pozo criollo.	asfaltita.
Pedro Julio. Sierra de Jatibonico.	Margen Continental	manif. Superf.	asfaltita.
San José del Lago. Aguas algo sulfurosas.	Margen Continental	pozo mapeo	agua sulfurosa.
Los Ramones Nuevos.	Manto Asociación Ofiolítica	pozo criollo.	asfaltita.
Calienes.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
Abras Grandes. municipio de Florencia.	Asociación Ofiolítica	manif. Superf.	asfaltita.
Las Nuevas, municipio de Taguasco.	Margen Continental	pozo criollo.	asfaltita.
Matacaballo. municipio de Yaguajay.	Asociación Ofiolítica	pozo criollo.	asfaltita.
Escobar. Municipio de Yaguajay.	Asociación Ofiolítica	manif. Superf.	asfalto.
Arroyo Los Portugueses. Municipio Cabaiguán.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.

TABLA VIII. Relación de las Manifestaciones de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas. Provincias de Ciego de Avila y Camagüey.

(LOCALIDADES DE INTERÉS)	(Dominio Paleog.)	TIPO DE MANIFESTACIÓN	
El Azufre, Ciego de Avila.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	agua sulfurosa.
Veracruz. (Pozo Somero). Aguas sulfurosas.	Neoautóctono	pozo mapeo	petról. y agua sulf.
Tamarindo. (Pozo PB-2). Municipio Florencia.	Manto Corteza Oceánica	pozo mapeo	asfaltita y a. sulf.
Alrededores del poblado de Tamarindo.	Manto Corteza Oceánica	pozo mapeo	agua sulfurosa.
Arroyo Malpai. Provincia de Camagüey.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	de gas y petróleo.
San Carlitos.	Cuenca Superpuesta	manif. Superf.	petróleo.
San José de Palomares, Sierra de Guaicanamar.	Cuenca Superpuesta	pozo criollo	asfalto.
El Cercado y Canjilones del Río Máximo.	Margen Continental	pozo mapeo	petróleo.
Santa Gertrudis, Noroeste de Senado.	Margen Continental	manif. Superf.	asfalto.
Cerro Pelado. Senado.	Margen Continental	pozo mapeo	asfalto.
El Carmen. Sierra Camaján.	Margen Continental	pozo criollo	asfalto.
La Amelia. Santa Lucía. Provincia de Camagüey.	Manto Arco Volcánico	pozo mapeo	asfaltita.
Camujiro. Provincia de Camagüey.	Arco Volcánico	pozo mapeo	agua sulfurosa.

TABLA IX. Relación de las Manifestaciones de Hidrocarburos y Aguas Sulfurosas. Provincias más orientales.

(LOCALIDADES DE INTERÉS)	(Dominio Paleog.)	(TIPO DE MANIFESTACIÓN)	
Loma La Morena, agua sulfurosa. Provincia Holguín.	Margen Continental	manif. Superf.	agua sulfurosa.
La Palmita. Holguín.	Cuenca Superpuesta	pozo criollo.	petróleo.
Punta Macabí, Central Nicaragua, antiguo Boston.	Cuenca Superpuesta	pozo estruct.	gas.
Arroyón, Noreste de Floro Pérez. Holguín.	Arco Volcánico K	pozo criollo.	asfalto en fract.
Los Pedernales. Amancio Rodríguez. Las Tunas.	Arco Volcánico K	pozo criollo	asfalto.
La Farola. Maniabón. Las Tunas.	Manto Ofiolítico	manif. Superf.	asfalto.
Facundo, Maniabón. Las Tunas.	Manto Ofiolítico	manif. Superf.	asfalto.
La Anguila. Municipio Puerto Padre. Las Tunas.	Manto Ofiolítico	pozo criollo	petróleo.
La Pedrona. Municipio de Jobabo. Las Tunas.	Arco Volcánico K	pozo mapeo	agua sulfurosa.
Maniabón 3, Municipio Puerto Padre. Las Tunas.	Asociación Ofiolítica	pozo criollo	petróleo.
Maniabón 2, Municipio Puerto Padre. Las Tunas.	Asociación Ofiolítica	manif. Superf.	asfalto.
Maniabón 4, Municipio Puerto Padre. Las Tunas.	Asociación Ofiolítica	pozo criollo	petróleo.
Maniabón 5, Municipio Puerto Padre. Las Tunas.	Asociación Ofiolítica	manif. Superf.	asfalto.
Norte de La Farola. Maniabón. Las Tunas.	Asociación Ofiolítica	pozo criollo	asfalto.
Facundo, municipio Puerto Padre. Las Tunas.	Asociación Ofiolítica	manif. Superf.	asfalto.
Yara, (denuncio de nafta). Provincia de Granma.	Arco Volcánico Paleogénico	manif. superficial	petróleo y gas.
Los Moscones. Canavacoa. Provincia de Granma.	Arco Volcánico Paleogénico	manif. superficial	petróleo.
La Cuquita. Aguas sulfurosas. Prov. Stgo. de Cuba.	Arco Volcánico Paleogénico	pozo mapeo	agua sulfurosa.
El Cobre. Provincia de Santiago de Cuba.	Arco Volcánico Paleogénico	pozo mapeo	gas.





Figura 1. Petróleo ligero en El Burén. Pinar del Río



Figura 2. Arenas bituminosas en Playa Las Canas. P. del Río



## NUEVO MODELO GEOLOGO – GEOFÍSICO INTEGRAL DE LA FRANJA NORTE DE CRUDOS PESADOS. CUBA.

**Roberto Otero Marrero<sup>(1)</sup>, Julio Gómez Herrera<sup>(2)</sup>**

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Cerro, Ciudad de la Habana, CP 12000, Cuba, C. Eléct. roberto@ceinpet.cupet.cu

(2) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Cerro, Ciudad de la Habana, CP 12000, Cuba, C. Eléct. Juliog@ceinpet.cupet.cu

### RESUMEN

La Franja Norte de Crudos Pesados posee una constitución geológica de alta complejidad, caracterizada por el desarrollo de cinturones plegados cabalgados que involucran rocas de la corteza oceánica obducida, el arco volcánico cretácico y las rocas sedimentarias de la cuenca del antiguo margen continental norteamericano y su plataforma.

El objetivo de este trabajo es la obtención de un modelo geológico bidimensional balanceado para la región de estudio que satisfaga, de forma integral, el cúmulo de informaciones geológicas y geofísicas existentes y que pueda ser utilizado para una mejor dirección de los trabajos exploratorios de la región.

El modelo bidimensional se estableció a lo largo de una línea de 45 Km de longitud y dirección nordeste – sudoeste que se extiende desde las inmediaciones del poblado de Madruga al sudoeste hasta las aguas marinas al nordeste del yacimiento gasopetrolífero de Yumurí y comprende las informaciones de geología de superficie, pozos exploratorios, líneas sísmicas, gravimetría y aeromagnetometría disponibles a lo largo de una franja de 3 Km de ancho a ambos lados de la línea del modelo. El proceso de modelado se llevó a cabo mediante diferentes programas de cálculo para la realización de las tareas directas de gravimetría, magnetometría y para la obtención de la sección geológica balanceada actual a partir de la sección no deformada.

Se define un estilo estructural caracterizado por cinturones cabalgados por diferentes niveles de despegue y constituidos por pliegues de rampa (fault- bend fold) en secuencia (piggy- back thrust) y formación de dúplex.

Se establece la historia del desarrollo tectónico de la región a partir de la sección no deformada (preorogénica) hasta el momento actual.

### ABSTRACT

The North Cuba heavy oil belt is geologically very complex with the development of several folded and folded and thrust belts containing several rocky complexes such as obducted oceanic crust, foreland basin carbonates and platform sedimentation.

This paper deals with a two- dimensional balanced geologic section for a region in integral interactions using geologic and geophysics information to be applied to exploration.

The information is provided by surface geology, exploration wells, seismic lines, land gravity and air magnetic along a three Km wide both sides of the line. The process of different softwares and programs for the realization of direct interpretation of gravity and magnetic anomalies to obtain a real balanced section starting from the non deformed one.

A structural style characterized by belts thrust by different levels of detachment and constituted by fault- bend fold in sequence (piggy- back thrust) and duplex formation.

We managed to define the tectonic movements of the region along the section still non- deformed (before orogeny) until today.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años los geólogos petroleros cubanos han dado en llamar “Franja Norte de Crudos Pesados” a la franja costera, de unos cinco kilómetros de ancho, que ocupa la parte norte terrestre y el acuatorio de las provincias La Habana y Matanzas donde han sido descubiertos, en reservorios carbonatados sinorogénicos y del Jurásico superior-Cretácico inferior, los principales yacimientos de Cuba (Varadero, Boca de Jaruco, Puerto Escondido, Yumurí- Seboruco y Santa Cruz) con petróleos de densidades que fluctúan entre los 11 y 14<sup>o</sup> API.

Esta franja está comprendida dentro de las denominadas regiones gasopetrolíferas Habana- Matanzas y varadero- Cárdenas, donde además de los yacimientos antes mencionados se han descubierto una serie de otros yacimientos de menores dimensiones asociados al llamado Terreno Zaza.

Diferentes autores han obtenido modelos geológicos para estas regiones gasopetrolíferas, apoyados en mayor o menor grado en las informaciones geofísicas pero todos con un marcado carácter cualitativo y sin un adecuado balanceo. El objetivo de este trabajo es la obtención de un modelo geológico bidimensional balanceado para la región de estudio que satisfaga, de forma integral, el cúmulo de informaciones geológicas y geofísicas existentes y que pueda ser utilizado para una mejor dirección de los trabajos exploratorios de la región.

Las informaciones adquiridas por los métodos geólogo- geofísicos de exploración y por los pozos profundos perforados en esta región, nos muestran que esta franja de crudos pesados se encuentra en el frente de los cinturones plegados y cabalgados que constituyen el archipiélago cubano.

Luego, las concepciones tectónicas aplicadas en este trabajo parten de la consideración de que el archipiélago cubano es un orógeno del Terciario temprano compuesto por elementos de origen oceánico y continental (Iturralde, 1994a). El elemento oceánico está representado por los arcos volcánicos y su corteza, mientras que el elemento continental lo conforman las rocas del continente norteamericano integradas por la cubierta sedimentaria del margen pasivo y su basamento. Se consideran dos arcos volcánicos: el arco volcánico del Cretácico, único presente en nuestra región de estudio, y el arco volcánico del Paleógeno.

Las rocas de la asociación vulcano-plutónicas del arco volcánico cretácico, en la literatura geológica cubana es común que estén descritas como parte de una unidad tectónica que incluye vulcanitas, plutonitas, ofiolitas y depósitos sedimentarios del Cretácico y Paleógeno (Hatten et al. 1958, Ducloz y Vuagnat. 1962). Tal unidad tectónica se ha denominado Zaza, a partir de los trabajos de Furrázola et al. (1964), Khudoley (1967), Meyerhoff y Hatten (1968), y más recientemente, Terreno Tectonoestratigáfico Zaza (Hatten et al. 1988 y Renne et al. 1991).

Aunque Iturralde (1994c) considera que estas clasificaciones resultan inconvenientes, pues las rocas vulcano-plutónicas cretácicas de Cuba se pueden caracterizar como un antiguo archipiélago de islas volcánicas, cuyos límites estratigráficos y tectónicos están bastante bien definidos, dada la amplia utilización del término "Terreno Zaza" entre los geólogos petroleros cubanos y su utilidad práctica, los autores utilizarán esta denominación para designar al conjunto de rocas del Arco Volcánico Cretácico, las



ofiolitas de su corteza oceánica y las de su cubierta sedimentaria del Cretácico y Paleógeno.

Las secuencias del margen continental se consideran divididas en dos dominios: de Pinar del Río y de Las Villas (Reporte CUPET - SPT, 1993). El dominio de Pinar del Río se asocia al margen de Yucatán y El dominio Las Villas (único comprendido en nuestra región de estudio), que aflora o ha sido cortado por pozos en casi todo el norte de Cuba, pertenece al margen continental Florida - Bahamas y al mismo, incluyendo sus depósitos sinorogénicos, está asociada casi la totalidad de la producción de petróleo del país.

En la composición de los mantos pertenecientes al arco volcánico y su corteza oceánica, predominan las rocas del complejo ofiolítico, susceptibles de constituir trampas gasopetrolíferas, mientras que en la composición de los pertenecientes al margen continental encontramos rocas sedimentarias, fundamentalmente carbonatadas pertenecientes a las Unidades Tectono- Estratigráficas (UTE) Placetas y Camajuani.

## MATERIALES Y METODOS

El modelo bidimensional se estableció en la Región gasopetrolífera Habana- Matanzas a lo largo de una línea de 45 Km de longitud y dirección nordeste – sudoeste que se extiende desde las inmediaciones del poblado de Madruga al sudoeste hasta las aguas marinas al nordeste del yacimiento gasopetrolífero de Yumurí y comprende las informaciones de geología de superficie, pozos exploratorios, líneas sísmicas, gravimetría y aeromagnetometría disponibles a lo largo de una franja de 3 Km. de ancho a ambos lados de la línea del modelo (figura 1).

La geología de superficie empleada fue la contenida en el mapa de escala 1:100 000, en formato digital, confeccionado por un colectivo de autores del Instituto de Geología y Paleontología.

Fueron empleados los datos estratigráficos aportados por los pozos exploratorios Madruga 3 a (P. F. 1897 m), Pardo 4 (P. F. 608 m, Corral Nuevo Sur (P. F. 1198 m), Cejas (1199 m), Chirino (1200 m) y Yumurí 20 (4050 m).

Las líneas sísmicas empleadas fueron la B707N y la B707S, terrestres, y la 1045 74, marina.

Los pasos llevados a cabo en el proceso de modelado fueron los siguientes:

1. Confección de la sección geológica preliminar, a partir de la interpretación de las secciones sísmicas disponibles apoyada en los datos de geología de superficie y de pozos (figura 2).
2. Tomando como referencia las mediciones de densidad efectuadas en cientos de núcleos de pozos para petróleo y aplicando el método de Talwani en el cálculo del campo gravimétrico creado por los diferentes cuerpos geológicos propuestos en la sección geológica preliminar se da solución a la tarea inversa, mediante un proceso de aproximaciones sucesivas del campo gravimétrico teórico al observado hasta lograr obtener una coincidencia aceptable entre ambos (figura 3). En este paso, correspondiente al modelado gravimétrico bidimensional, fue empleado el programa grav2dc 2.10. El campo teórico se obtiene para la distribución geométrica propuesta





inicialmente, que puede ser posteriormente modificada por el interpretador al variar la distribución geométrica del o los cuerpos presentados así como sus densidades efectivas.

3. Confección del modelo magnetométrico mediante la asignación de atributos magnéticos a los cuerpos geológicos que por su naturaleza (conocida o supuesta) poseen propiedades magnéticas. Para este modelado fue utilizado como atributo la susceptibilidad magnética de los diferentes cuerpos.
4. Cálculo del campo magnético creado por los diferentes cuerpos geológicos con propiedades magnéticas y resolución de la tarea inversa mediante la aproximación sucesiva del campo teórico al observado hasta llegar a obtener una coincidencia aceptable entre ambos. Para esta tarea de modelado magnetométrico bidimensional (figura 4) fue empleado el programa mag2dc 2.10.
5. Confección de la sección geológica balanceada. Para esta tarea fue utilizado el programa THRUST BELT 3 el cual a partir de la sección geológica no deformada o preorogénica (figura 5) y a través de un proceso (forward modelling) de numerosas iteraciones donde se combinan fallas, despegues y amplitud de los movimientos de los diferentes cabalgamientos hasta lograr una sección satisfactoriamente similar a la obtenida por el modelado de los datos geofísicos realizado anteriormente.

## RESULTADOS

Como resultado del modelado realizado a partir de las informaciones geológicas y geofísicas se obtuvo la sección geológica balanceada por la línea AA' (Madruga- Yumurí) obtenida a partir de los datos geológicos, geofísicos y de pozos utilizando el programa THRUST BELT 3 para el balanceo de secciones (Jones. P.B, 1991). Esta sección, que se muestra en la figura 6, es un modelo representativo de la posible configuración geológica actual para la región.

En la confección de la sección balanceada se partió de imaginar como era la sección geológica inicial (figura 6). Esto es, imaginar como era la secuencia estratigráfica antes de su deformación. Naturalmente, se parte de una secuencia de formaciones horizontal o casi horizontal, teniendo en cuenta los espesores de cada formación y el ángulo conque las fallas de cabalgamiento las cortan. Estos datos se tomaron por los ya conocidos para la región.

## DISCUSIÓN

En el momento actual, los geólogos petroleros dividen la evolución geológica de Cuba en tres períodos relativos a la orogenia principal. Estos van a ser: Preorogénico (antes del Campaniano), Orogénico (del Campaniano al Eoceno Medio - Superior y pudiese alcanzar el Oligoceno en Cuba Oriental) y Postorogénico (López J. G, 1995a y 1995b).

La orogénia cubana fue un proceso de cabalgamientos regionales de gran magnitud que provocaron un considerable apilamiento de los estratos en la cuenca preorogénica del margen continental y por consiguiente su acortamiento. Esta comienza a manifestarse a finales del Cretácico (Campaniano) y cesa bruscamente en el Eoceno. Coincide en el tiempo y en consecuencias con los procesos de formación de montañas e inversión de





cuencas de México y el Norte de América del Sur (Tenreyro, 1996). Todo parece indicar que el orógeno del sector cubano es el resultado de la colisión entre un arco volcánico desarrollado sobre una placa oceánica, probablemente de origen Pacífico y la sección continental de la placa Norteamericana. Resalta el hecho de que el comienzo de la orogenia coincide con la extinción de la actividad volcánica en el arco. En Cuba oriental el vulcanismo se extiende un poco más en el tiempo al surgir un nuevo arco volcánico que se conoce en la literatura cubana como el arco volcánico del Paleógeno.

En un momento posterior al Eoceno Inferior disminuye la intensidad de los esfuerzos horizontales característicos de la etapa de formación de montañas. Esto se debe, probablemente, al cambio del tipo de interacción entre ambas placas. Si durante la formación del arco y la orogenia la relación era de colisión frontal, en el periodo postorogénico en este sector comienza a desarrollarse una frontera entre placas del tipo de cizallamiento con un sistema transformante denominado sistema Caimán.

Luego, en el contexto del orógeno cubano, el estilo tectónico de nuestra región de estudio está caracterizado por el desarrollo de mantos superpuestos con desarrollo de cuencas sinorogénicas del tipo *Piggyback*. Esta complicada estructura geológica es el resultado de la colisión del arco volcánico cretácico y su corteza oceánica (Terreno zaza), provenientes del sur, con las rocas del margen continental norteamericano, por lo que en esta superposición encontramos tanto mantos del arco volcánico como del margen continental.

De acuerdo al modelo obtenido (figura 6), la evolución del área a partir del Campaniano sería la siguiente:

Durante el Campaniano y Maestrichtiano Inferior, en el sur, ocurre la deposición de sedimentos (Formación Vía Blanca) en las cuencas del tipo *Piggyback*, formadas sobre el arco volcánico que cabalga, junto con su corteza oceánica, sobre el margen continental. En este proceso las ofiolitas jugaron el papel de lubricante para el despegue. Comienzan los cabalgamientos de las rocas de la cuenca del margen continental mientras, en la parte norteña, en la cuenca de antepaís temprana, ocurre la deposición de sedimentos de igual edad pero con facies diferentes (Formaciones Bacunayagua y Amaro).

De esta forma, para fines del Maestrichtiano ocurre el apilamiento, probablemente el mayor, tanto de rocas de ZAZA como del margen continental, participando hasta ahora sólo las rocas de la parte superior de Placetas (Formaciones Carmita, Santa Teresa y Bacunayagua como cubierta sinorogénica).

Durante el Paleoceno hasta el Eoceno Superior Temprano ocurre la deposición, en aguas profundas, de sedimentos (Formación Vega Alta) en la cuenca de antepaís sobre los depósitos sinorogénicos (Formación Amaro) al sur y directamente sobre las rocas de la parte inferior de Placetas (Grupo Veloz + Fm. Constancia) las cuales aún no estaban cabalgadas. En esta etapa ocurre el cabalgamiento, en forma de *duplex* (Tenreyro, R. et al. 1998) de las rocas mencionadas de Placetas, ocurriendo el despegue superior dentro de la Formación Vega Alta ya depositada. Al final, ocurre el emplazamiento, fuera de secuencia, de los depósitos del Cretácico Superior de la Formación Vía Blanca sobre los paleógenos de la Formación Vega Alta, fenómeno ampliamente observado en los pozos perforados en el litoral de esta región.

En el modelo también se supone, por analogía con la región de Varadero- Cárdenas, el posible apilamiento, mas al norte, de las secuencias de la UTE Camajuani.

El apilamiento tectónico de las unidades de cuenca y su enterramiento súbito bajo los mantos del Terreno Zaza, provocó el calentamiento de las rocas madre propiciando su maduración y la expulsión de los hidrocarburos.

## CONCLUSIONES.

1. La sección geológica obtenida es un modelo geofísico de simulación que abarca y satisface, en líneas generales, el cúmulo de informaciones geólogo- geofísicas disponibles en la actualidad para la región de estudio y constituye una herramienta de trabajo para la orientación de la exploración petrolera en la misma.
2. El modelo presentado, como modelo al fin, no es totalmente abarcador y representa solo una imagen parcial de la realidad, por lo que es susceptible de ser modificado a medida que se adquieran nuevas informaciones geológicas y geofísicas, con el desarrollo de los conocimientos teóricos y con la adquisición de software más modernos.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Ducloz, C. Y Vuagnat, V. 1962. A propose de l' age des serpentinites de Cuba: Arch. de Sciences, Soc. Phys. Hist. Nat. Geneve 15 (2): 309-332.
- Furrazola, G., Khudoley, K, Mijailovskaya, M., Mirolivov Y., Novojatsky, I., Nuñez, A y Solsona, J. 1964. Geología de Cuba: Editorial Universitaria, La Habana, 239 p.
- Hatten, C. W., Schooler, O. E., Giedt, N and Meyerhoff, A. A. 1958. Geology of Central Cuba, eastern Las Villas and Western Camagüey provinces (inédito). Archivo Fondo Geológico del Ministerio de Industria Básica. La Habana.
- Hatten, C. W., Somin, M., Millan, G., Renne, P., Kistler, R. W., and Mattinson, J.M. 1988. Tectonostratigraphic units of central Cuba, in Barquer, L., ed., Trans. Carib. Geol. Conf. 11 th, 35: 1-35: 13.
- Iturralde, M. A. 1994a. Cuba Geology: A new plate-tectonic Synthesis. Journal of Petroleum Geology, Vol. 17(1), p. 37-39.
- Iturralde, M. A. 1994c. Cuba: El Arco de Islas Volcánicas del Cretácico. En: Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO. Ciudad de La Habana, Cuba. p. 181.
- Jones, P.B. 1991. THRUSTBELT 3. User's Manual Thrustbelt systems Ltd. Calgary. Alberta. Canada. 40 p.
- Khudoley, K. 1967. Principal features of Cuban geology: AAPG Bull. 51 (5): 668-677.
- López, J.G., García, R., Tenreyro, R., López, J.O., Valladares, S. y Yero, M.1995a. Caracterización geólogo - petrolífera del Bloque 8. Informe no publicado, Archivo CEINPET.
- López, J.G., Tenreyro, R, Sánchez, J.R., López, J.O., Barceló, G., Perera, C., Navarrete, L.E., Carballo, J.R., Rodríguez, M. y Villavicencio, B. 1995b. Caracterización geólogo - petrolífera del Bloque 23. Informe no publicado, Archivo CEINPET.
- Meyerhoff, A.A. and Hatten, C. W.1968. Diapiric structure in Central Cuba: AAPG Memoir 8: pp.315-357.
- Renne, P., Scott, G., Doppelhammer, S., Linares, E., and Hartgraves, R. 1991. Discordant mid-Cretaceous paleomagnetic pole from the Zaza terrane of central Cuba: Geophysical Research Letters 18 (3): 445-458.
- Simon Petroleum Technology Limited/CUPET. 1993. The Geology and Hydrocarbon Potential of the Republic of Cuba. Proprietary Report, SPT, Vol. 1. Text and enclosures. Llandudno, United Kingdom.
- Simon Petroleum Technology Limited/CUPET. 1993. The Geology and Hydrocarbon Potential of the Republic of Cuba. Proprietary Report, SPT, Vol. 1. Text and enclosures. Llandudno, United Kingdom.
- Tenreyro, R; Otero, R; López, J. G. 1996. Contribución a la tectónica regional de Cuba. Aspectos relacionados con el potencial y la exploración de hidrocarburos. Archivo CEINPET.

Tenreyro, R., Otero, R., Toucet, S. y López, J. G. 1998. Evaluación del potencial de hidrocarburos del sur de Golfo de México. Memorias Geología y Minería'98. Vol. II. p. 319.

## FÍGURAS.

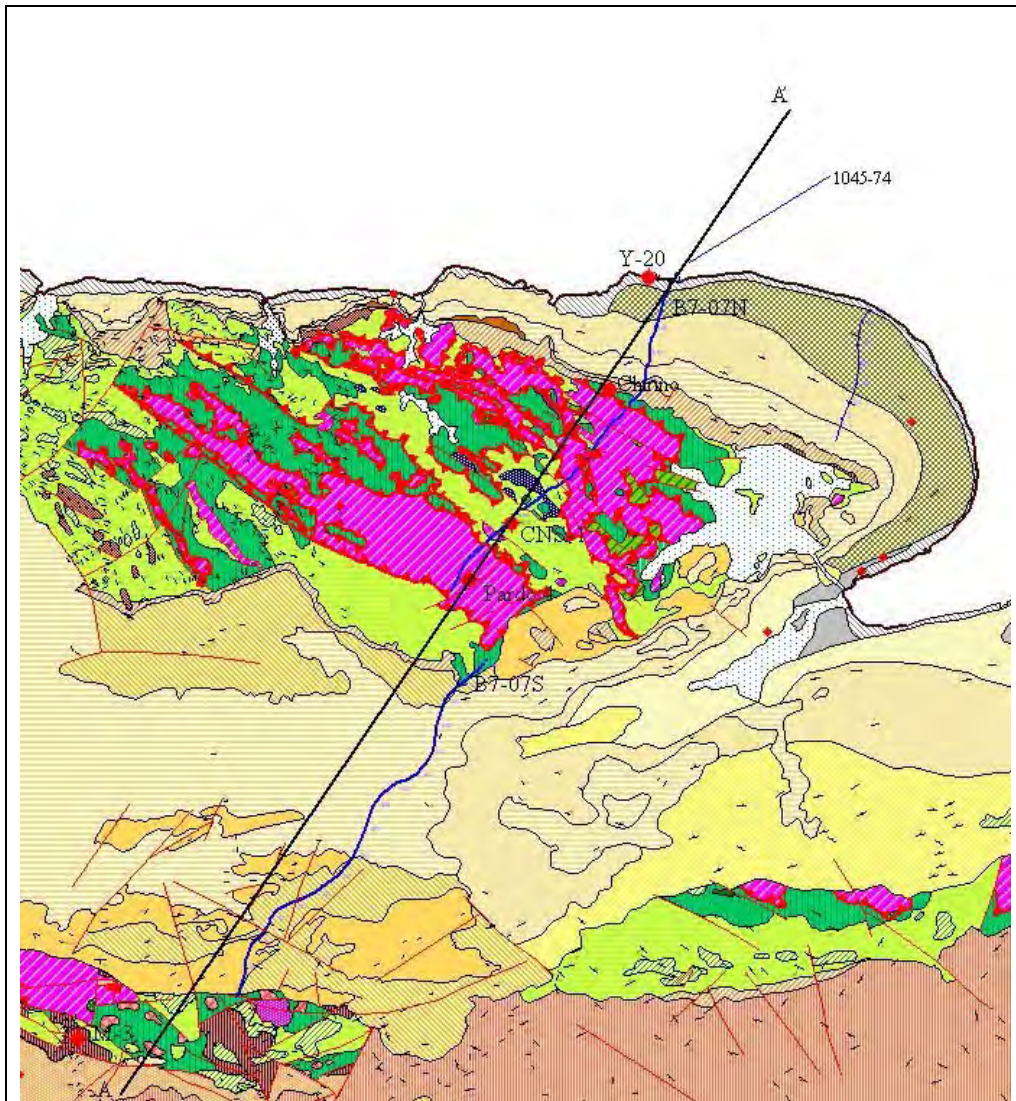


Figura 1. Mapa geológico del sector oriental de la Región Gasopetrolífera Habana-Matanzas, donde se muestra la línea AA' por cuya dirección se realizó la sección geológica balanceada.



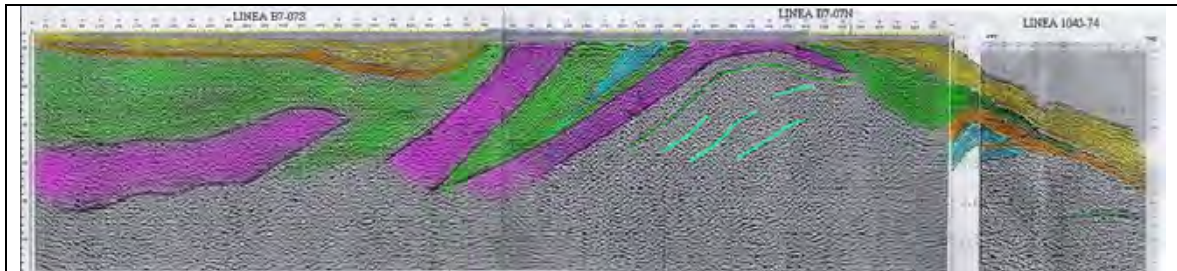


Figura 2. Interpretación de las secciones sísmicas disponibles apoyada en los datos de geología de superficie y de pozos.

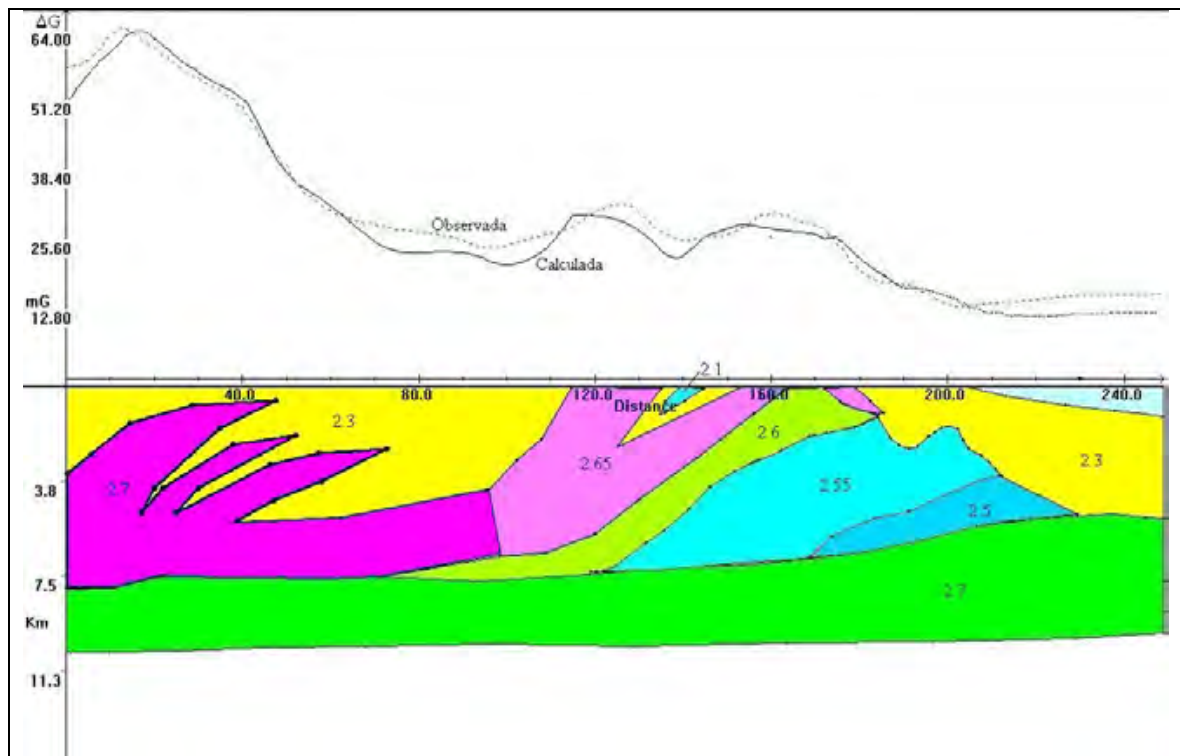


Figura 3. Resolución de la tarea inversa mediante la aplicación del método de Talwani, empleando el programa grav2dc 2.10, en el cálculo del campo gravimétrico creado por los diferentes cuerpos geológicos propuestos en la sección geológica preliminar.

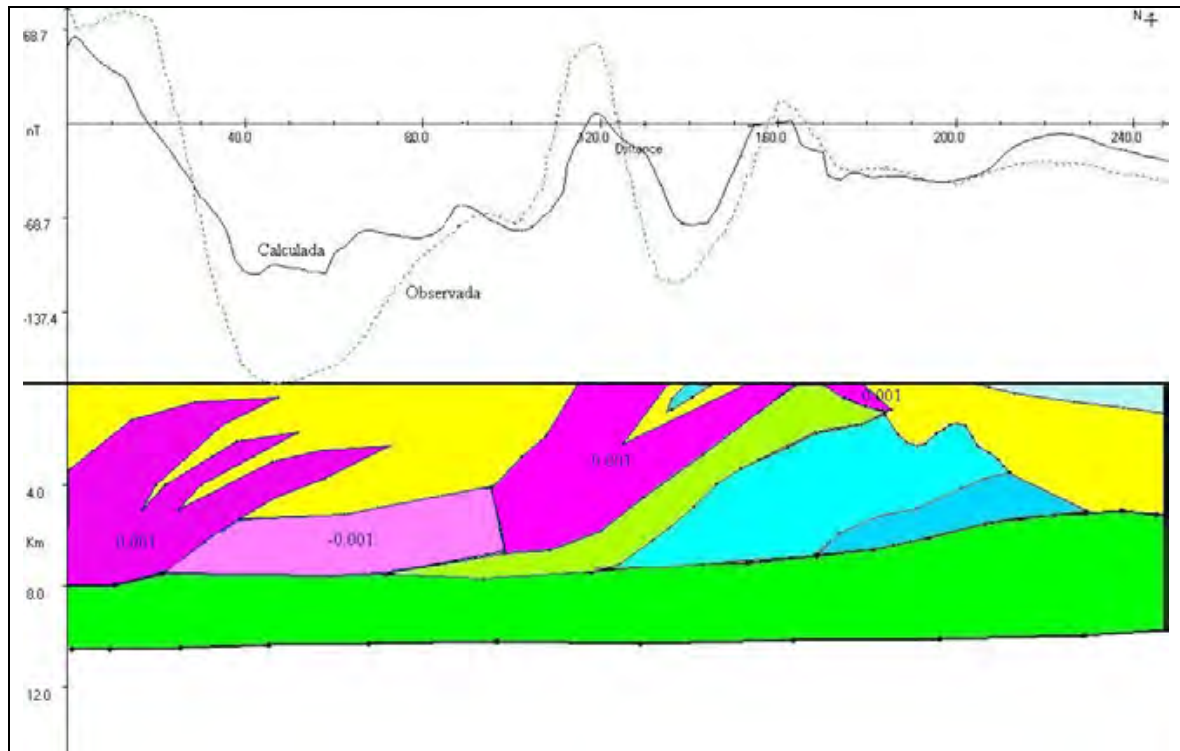


Figura 4. Modelo magnetométrico, confeccionado mediante la asignación de valores de susceptibilidad magnética a los cuerpos geológicos que por su naturaleza (conocida o supuesta) poseen propiedades magnéticas.

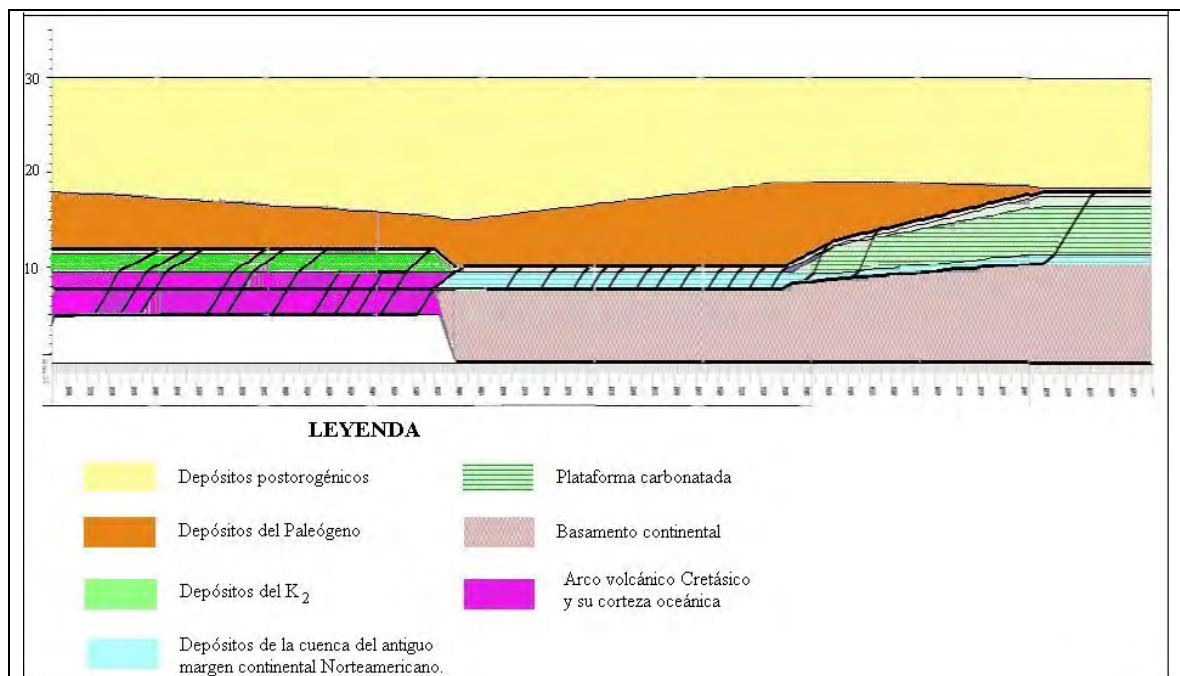
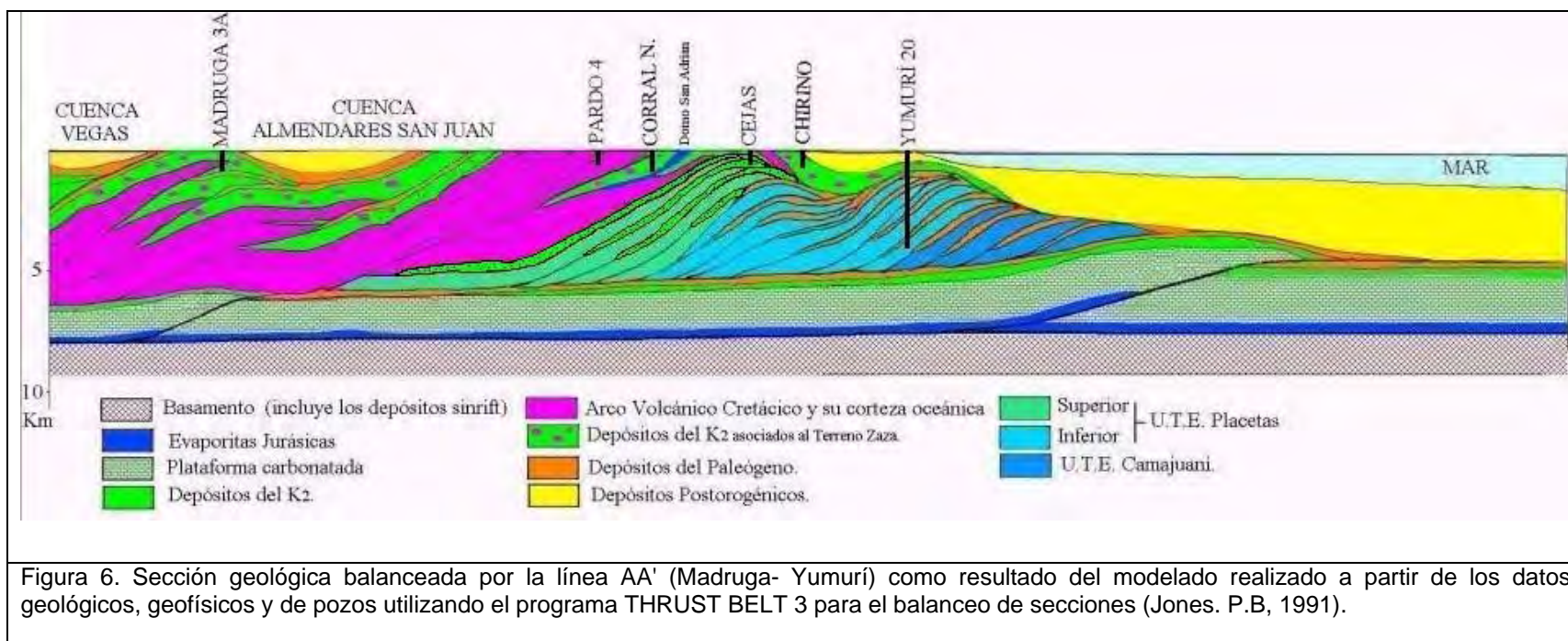


Figura 5. Sección geológica inicial, no deformada aún por los procesos orogénicos.







## TRABAJO INVESTIGATIVO SOBRE LA RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA JARAHUECA PROVINCIA SANCTI SPIRITUS

**Yaneisy Tamayo Castellanos.**

Centro de investigaciones del petróleo. Washington #169 Esq. Churruca, Cerro. C. Habana. Cuba  
E-Mail: [yaneisy@ceinpet.cupet.cu](mailto:yaneisy@ceinpet.cupet.cu)

### RESUMEN

El presente trabajo trata acerca del conocimiento geológico del área Jarahueca, que desde 1918 se conocieron las primeras manifestaciones de hidrocarburos y que más tarde Jorge Brodermann y colaboradores, hicieron públicas en 1943, año en el que se perforaron los primeros pozos exploratorios. Este descubrimiento, precipitó y favoreció el interés en el campo petrolífero promoviendo el desarrollo del área.

La geología del campo de Jarahueca fue considerada como un alargado complejo diorítico - serpentinitico, limitado al norte por la formación Aptychus del Cretácico Inferior y al sur bordeado por los conglomerados de la formación Jíquima, del Cretácico Medio, recubiertas por areniscas y margas del terciario.

Numerosas compañías como la Cuban - Venezuelan Oil Voting Trust y La Cabaiguan Driling Company realizaron diferentes trabajos en el área con el objetivo de buscar similitudes geológicas en el complejo serpentinitico en contacto con los carbonatos y cartografiar las manifestaciones superficiales del contacto, para finalmente proponer la perforación de pozos someros.

En 1982 se reinició el estudio del área, elaborándose un informe fundamentado para la reanudación de los trabajos de perforación, en base a nuevos criterios, de los autores: Gustavo Echevarría Rodríguez y Rafael Tenreyro Pérez. Otras investigaciones geológicas fueron realizadas más reciente, el levantamiento geológico 1: 250 000 ejecutado por la ACC (1987), y el trabajo de cartografía de E. Linares de gran valor geológico en 1989. También se realizaron los levantamientos geológicos a escala 1: 50 000 por la Empresa Geológica de Villa Clara (1993), de gran trascendencia para el conocimiento geológico de la región.

### ABSTRACT

The present work is about the geologic knowledge of the Jarahueca area, that since 1918 were known the first manifestations of hydrocarbons and later Jorge Brodermann and collaborators, made public in 1943, year in which the first exploratory wells were drilled. This discovery, precipitated and favored the interest in the oil field promoting the development of the area.

The geology of the Jarahueca's field was considered as a lengthened complex diorítico - serpentines, limited at north by the Aptychus formation of the lower Cretaceous and at the south bordered by the conglomerates of the Jiquima formation, of middle Cretaceous, covered for sand stone and marl of tertiary age.

Many companies like the Cuban - Venezuelan Oil Voting Trust and La Cabaiguan Driling Company carried out different works in the area with the objective of looking for geologic similarities in the complex serpentinitico in contact with the carbonates and make cartography over the superficial manifestations of the contact, for finally propose the perforation of shallow wells.

In 1982 it was restarted the study of the area, a report based for the renewal of the perforation works being elaborated, based on new criteria, from authors: Gustavo Echevarría Rodríguez and Rafael Tenreyro Pérez. Other geologic researches were carried out more recent, the geologic rising 1: 250 000 executed by the ACC (1987), and the work of cartography of E. Linares of great geologic value in 1989. They were also carried out the geologic risings to scale 1: 50 000 for the Geologic Company of Villa Clara (1993), of great transcendancy for the geologic knowledge of the region.

## INTRODUCCIÓN

En el área de estudio denominada Jarahueca, perteneciente a la provincia Sancti Spiritus (Fig. I) se encuentra el yacimiento que lleva este mismo nombre el cual está en estudios y explotación desde 1943 hasta nuestros días, región donde se han realizado diferentes trabajos geológicos y geofísicos a diferentes escalas, muchos de ellos ejecutados especialmente para la exploración petrolera.

El estudio de dicha área permitió valorar las diferentes concepciones geólogo-estructurales, analizando los resultados obtenidos en cada uno de ellos y su evolución a través del tiempo, comparando los mismos con la finalidad de sacar conclusiones acerca de la posibilidad de la región para la exploración petrolera y como base para la ejecución de nuevos trabajos exploratorios en la misma, el mismo pretende demostrar como varían los criterios geológicos a través del tiempo.

## DESARROLLO

Las manifestaciones superficiales de hidrocarburos son conocidas durante largo tiempo – desde 1918 aproximadamente -, en el área del campo Jarahueca, cuando Everette L. De Golyer y Jorge Brodermann hicieron públicas, la existencia de chapapoteras y salideros de petróleo y gas en la región analizada y otras de la provincia Las Villas. Sin embargo fue hasta 1943 que se perforaron los primeros pozos exploratorios. El pozo Regina # 1, que fue perforado en Marzo de ese año, por la Caribbean Mining Company, resultando el mismo seco.

Inmediatamente nuevas manifestaciones de gas fueron detectadas en los alrededores y en Octubre del propio año se perfora el pozo # 2, el que a la profundidad de 365 pies, tuvo surgencia de petróleo durante varias horas, pero la cantidad no fue correctamente estimada, aunque alrededor de 2 000 barriles fueron producidos – según los cálculos -, aunque sólo se salvaron 500 de ellos.

El descubrimiento precipitó y favoreció el interés en el campo petrolífero y varias compañías e individuos activos en Motembo trasladaron sus equipos para Jarahueca y desarrollaron el área. Varias refinerías fueron construidas, dos de ellas en el campo Jarahueca y una tercera en Cabaiguán, esta última, por interés norteamericano.

La geología del campo Jarahueca fue considerada entonces (según los geólogos de la Oil Properties Consultants Inc. para la Cuban - Venezuelan Oil Voting trust - 1950)(Fig.II) , integrada por un alargado complejo diorítico – serpentinitico, limitado al norte por la Formación Aptychus del Cretácico Inferior y al sur bordeado por los conglomerados de la **Fm. Jíquima**, del Cretácico Medio, recubiertas por areniscas y margas del Terciario. Describiéndose toda el área afectada por los plegamientos y fallamientos. En los afloramientos, las capas de la Fm. Aptychus (Cuban-Venezuelan Oil Voting Trust, Oil Properties Consultants, Inc.: Geology of Jarahueca Oil and Zaza basin Las Villas Province, Cuba. April, pp 3-34, 1950), la consideraban bien expuestas a intervalos, mostrando inclinaciones entre 30° y 90°, por lo que estaban afectadas por un intenso plegamiento y fallamiento.

En numerosos afloramientos las capas se describían de brillantes colores púrpura, rojo y verde, pero fundamentalmente grises, con numerosas venas de calcita. Hacia el norte del campo, finas capas de color marrón y negro integradas por abundante material silíceo y



pedernales, se apreciaban bien expuestas y fuertemente plegadas y localmente distorsionadas. Esas, fueron datadas del Cretácico Inferior considerando que probablemente representarían originalmente un horizonte de lutitas.

La Formación Jíquima del Cretácico Medio está compuesta por un complejo altamente fracturado de conglomerados diabásico con lentes de calizas, areniscas y lutitas y en su límite norte por rocas ígneas básicas y ácidas. El aspecto general es de coloración verdosa hasta el gris, y rocas tobáceas de granulometría fina.

La zona de borde está integrada predominantemente por rocas ígneas, incluyendo los granitos, los conglomerados también contienen areniscas y calizas; éstos se extienden hacia el sur. Ocasionalmente estrechas capas están compuestas por tufitas silíceas de granulometría fina y diques de rocas ígneas básicas alteradas. La formación analizada es considerada equivalente a la Formación Provincial del Cretácico Medio, la que había podido ser estudiada en el área de Cienfuegos, donde litológicamente se apreciaba idéntica a la Formación Jíquima. Algunos hechos relacionados con la perforación, resultan de interés, tanto para valorar el problema histórico y sacar experiencias, como para las actividades de exploración de los complejos de rocas serpentiniticas.

Los pozos perforados hasta el año 1946 fueron realizados todos con equipos de percusión, pero por las características de las rocas, fue considerado que este tipo de perforación no fue satisfactorio, ya que alrededor del 30% de los pozos no pudieron ser concluidos por la excesiva cavernosidad y grandes derrumbes.

En 1949 la Cabaiguan Drilling Company importó un pequeño equipo de perforación rotaria, el que perforaba mucho más rápidamente, y demostró que, los pozos eran más rectos y no se producían cavernas. Sin embargo según analizaron los especialistas de la Oil Properties Consultants Inc. -, la perforación usando lodo, tendía a provocar la penetración de éste en los poros de la roca, formando una interfase con el petróleo y las manifestaciones de hidrocarburos no eran detectadas, como ocurrió en el pozo **Regina CDC # 2/3**, que por la ausencia de manifestaciones en el intervalo de 1 880 hasta 2 170 pies, el pozo fue abandonado como seco, con un segundo inconveniente relacionado con las bombas de lodo, que resultaron pequeñas para esas grandes profundidades. Luego de abandonado por unos 30 días, - en Marzo de 1949 -, el pozo se abrió exhibiendo mucho petróleo, con una presión de gas estimada de 250 psi. Con un flujo de petróleo de 400 barriles por día.

Según muestran los datos de la compañía antes mencionada, en el bloque del Regina 3, se perforaron la mayoría de los pozos del yacimiento, alrededor de 200 en un área de 250 acres y el crudo no era semejante en todos los niveles perforados, variando su gravedad específica de 37.6° hasta 45° API.

Desde 1943 hasta 1949 el campo Jarahueca produjo 850 000 barriles de crudo, pero la producción fue bajando y en 1947 fue de 220 000 barriles, mientras en 1949 fue sólo de 157 000 barriles. De los 200 pozos perforados – anteriormente mencionados -, sólo 17 fueron productores, con un promedio de 25 bls /d; produciendo a profundidades que iban desde 365 hasta 2 170 pies, y un promedio de 1 270 pies. Siendo el mejor pozo productor el **Regina CDC # 2/3**, que produjo cerca de **48 000 barriles**. Muchos otros pozos fueron productores y reportaron producciones de 60 – 80 bls/d.

Como conclusión del informe presentado por la compañía referida anteriormente, exponen que, el Yacimiento Jarahueca estaba – 1949 -, aproximadamente agotado y la continuación



de la perforación en el mismo no se consideraba provechosa. Por otro lado, creían que, el yacimiento podía extenderse hacia el noroeste, siguiendo el contacto de las rocas ígneas serpentinizadas y los carbonatos del Cretácico Inferior, y en esa dirección podían ser ejecutadas tareas de exploración. Otros autores como: E. Ruiz - Williams y W. F – Auer, en el Reporte Geológico # 1 del 18-7-49, titulado "Plane Table traverse of Jarahueca Oil Field"; plantean que: Realizaron un plano geológico a escala 1: 5 000 y dos cortes geológicos transversales a escala 1: 20 000, desde el yacimiento hasta el poblado de Jarahueca.

Consideraron que la geología del campo petrolero era relativamente simple, en la que el contacto del cinturón de serpentinitas – dioritas con el cinturón de las calizas Aptychus seguía una dirección de N 50 W, con inclinación hacia el norte; siendo el contacto paralelo a la dirección de las calizas. El cinturón serpentinitico – diorítico de alrededor de 15 Km. de ancho limita al sur con las tufitas.

El contacto de las serpentinitas – calizas se extiende alrededor de 10Km. al noroeste y unos 15Km. al suroeste, considerando que en toda esa longitud - 25Km. -. Existían condiciones con similares posibilidades para la exploración gasopetrolíferas. La producción reportadas en las serpentinitas, se localizan en una faja no mayor de 300m a lo largo del contacto de éstas, con las calizas Aptychus.

Aunque el reporte sólo contó con la información del yacimiento Jarahueca, donde hasta esa fecha se habían perforado 112 pozos en un área de 500 X 500 m, se extendió la información a toda el área de contacto entre los dos cinturones rocosos de naturaleza diferentes, cosa esta que fue criticada por R. J. Macaulay, en el informe que envió a Mr. C. W Hamilton V.P. de la Gulf Oil Corporation.

Charles Ducloz, en 1958 (Fig. III), confeccionó un mapa titulado Generalized Geological Map. Central and northern Las Villas Province, Cuba, a escala 1: 100 000; trabajo que realizó para la Texaco Petroleum Company. Las investigaciones geológica abarcaron toda la región donde se encuentra el área objeto de nuestra investigación, y sobre la cual, en el propio mapa ha quedado inscripta la concepción geológica de la Estructura de Jarahueca, la que se concebía como una ventana en la que afloraban rocas cretácicas rodeadas de otras de diferente naturaleza, entre las que se encuentran las provenientes de la Corteza Oceánica y el Arco de Islas. En el trabajo se concebían las estructuras cabalgadas, manteniendo el rumbo cubano de las mismas y buzamientos hacia el sur.

En 1961 fue realizado un trabajo titulado "Jarahueca. Plano Geológico". Relevamiento con plancheta tablero en "Las Tapias de Pedro Barba" y "Minas Jarahueca", a escala 1: 10 000, realizado por G. Echevarría - Rodríguez, para el ICP - ICRM, (Instituto Cubano de Recursos Minerales). En este detallado trabajo fueron cartografiados todos los pozos perforados hasta 1958 y además, todas las secuencias, tanto las de los cinturones ofiolíticos y su límite septentrional en contacto con los carbonatos y los sin orogénicos entre ellos, así como los fundamentales sistemas de fallas que afectan la zona cartografiada; considerando el buzamientos hacia el NE. El objetivo principal del trabajo era buscar similitudes geológicas a lo largo del cuerpo serpentinitico en contacto con los carbonatos y cartografiar las manifestaciones superficiales a lo largo del contacto antes analizados, para finalmente proponer la perforación de pozos someros, lo cual no se realizó.

En 1974 A. L. Knipper de la AC de la URSS y R. Cabrera, del Instituto de Geología y Paleontología de la ACC, en el trabajo titulado: Tectónica y geología histórica de la zona de articulación entre el miogeosinclinal y el eugeosinclinal del cinturón hiperbasítico de Cuba,

analizan entre otras la zona de la Estructura de Jarahueca y brindan una explicación de la geología y la tectónica de la misma.

La cuña tectónica de Jarahueca (Fig. IV), tiene una estructura interna complicada por numerosos fallas inversas y de sobrecorrimento que forman un abanico abierto. Entre las fallas mencionadas, están situados unos sistemas de pares de pliegues, formados por sinclinales relativamente anchos y anticlinales estrechos. Una de las alas del anticlinal está fracturada de tal manera que éste aparece sobrecorrido sobre el siguiente sinclinal.

Las dislocaciones dentro de la cuña tectónica Jarahueca, parecen cortarlas en unas placas delgadas con forma de huso en el plano, a lo largo de cuyos bordes se sitúan cuerpos estrechos de serpentinitas. La profundidad de las placas puede juzgarse por los datos del pozo **CDB 1**, que a la profundidad de 2 100 entró en las serpentinitas.

Además aseguraban que: De este modo, a nuestro parecer, tampoco en el caso dado hay ninguna duda con respecto a que las calizas de la región de Jarahueca se continúan por debajo con las serpentinitas. Además, en el ejemplo citado, se ve bien que la cuña tectónica (o lente) a su vez está formada por una serie de cuñas, limitadas por serpentinitas.

Por otro lado, en **1982**, fue retomada el área, elaborándose un informe titulado: Fundamentación para la reanudación de los trabajos de perforación en base a nuevos criterios en el yacimiento Jarahueca, de los autores: Ing. Gustavo Echeverría Rodríguez y el Ing. Rafael Tenreiro Pérez, trabajo desarrollado para el Centro de Investigaciones Geológicas (**CIG**).

Para llevar a cabo el trabajo mencionado fue utilizado como base el mapa realizado por G. Echeverría Rodríguez en 1961 y sobre éste, se destacó la presencia de anomalías del levantamiento de luminiscencia, realizada por compañías norteamericanas, y además un gráfico de isóneas de producción inicial, dividiéndose el área en tres zonas convencionales (A, B, C). A partir de los resultados antes expuestos, se propuso la perforación de tres pozos exploratorios en la zona A – Jarahueca -, a profundidades de 1000 – 1200m. En la zona C – Eloisa -, tres pozos también a profundidades iguales, y para la zona B – Regina -, cuatro pozos dispuestos en triángulo, a semejantes profundidades.

En 1989 el compañero E. Linares realiza el trabajo denominado "Mapa complejo – Geofísico región Placetas – Jarahueca", a escala 1: 50 000, en el que cartografía las áreas comprendidas por las cartas topográficas a la misma escala, Placetas y Meneses.

En este trabajo se logra corregir algunos aspectos estratigráficos de los trabajos cartográficos a la misma escala realizados con anterioridad, incorporando para ello el estudio petrográfico y paleontológico de numerosas muestras tomadas durante la realización de los trabajos.

En el capítulo de Posibilidades petrolíferas de la región Placetas – Jarahueca, Linares Cala plantea que: El yacimiento Jarahueca puede repetirse en la dirección del contacto de las serpentinitas y las rocas carbonatadas de la sub unidad tectónico-estratigráfica Placetas. Los pozos perforados a lo largo del contacto a una distancia no mayor de 400m, descubrieron entradas industriales de petróleo.

Es una realidad que las distintas zonas de acumulación no se comunican entre sí, pues están asociadas a fallas y también por el hecho de que las serpentinitas presentan zonas de poca alteración siendo con propiedad ultrabásitas poco serpentinizadas conservan su integridad.



El propio autor en su trabajo recomienda: Que en la franja de ofiolitas situadas más al norte, pueden existir similares o mejores condiciones de producción que en el yacimiento Jarahueca y no han sido exploradas anteriormente. Las serpentinitas del manto Jarahueca se extienden al NO y no se ha explorado ese contacto más que en apenas 1 km<sup>2</sup> de área. Allí existen las mismas condiciones que en la zona productora Jarahueca donde el área explotada tiene un gran acumulado de petróleo. Pueden existir zonas productivas en los mantos del arco de islas, en las vulcanitas del Cretácico sobre empujadas sobre las calizas de la UTE Placetas tipo Pina.

## CONCLUSIONES

Todos estos trabajos antes mencionados han sido analizados y estudiados detalladamente teniéndose en cuenta su complejidad y grado de estudio, para comparar y elaborar un nuevo criterio acerca de la geología del área. Para este trabajo investigativo sobre la recopilación de información geológica del área Jarahueca en la provincia Sancti Spiritus, se realizó una intensa búsqueda de la información auxiliándonos de la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) y otros materiales de archivos del CEINPET, obteniéndose buenos resultados. El presente trabajo fue utilizado como parte de un nuevo proyecto investigativo titulado "La cartografía geológica a gran escala y el estudio microtectónico de la estructura Jarahueca y lugares adyacente " del autor C. Sosa y colaboradores, año 2003.

## BIBLIOGRAFIA

Brodermann, J. 1943. Breve reseña geológica de la isla de Cuba. Censo de la Republica de Cuba, pp. 113-148.

Cuban-Venezuelan Oil Voting Trust, Oil Properties Consultants, Inc.: Geology of Jarahueca Oil and Zaza basin Las Villas Province, Cuba. April, pp 3-34,

1950 E. Ruiz-Williams, W. F-aer: Plane Table traverse of Jarahueca Oil Field. Havana

1949 Linares, E. , R. Cruz, Y. Rodríguez y P. Valdés: Informe geológico de la región Placetas Jarahueca. 1989



## FIGURAS

### Mapa de ubicación geográfica de Jarahueca

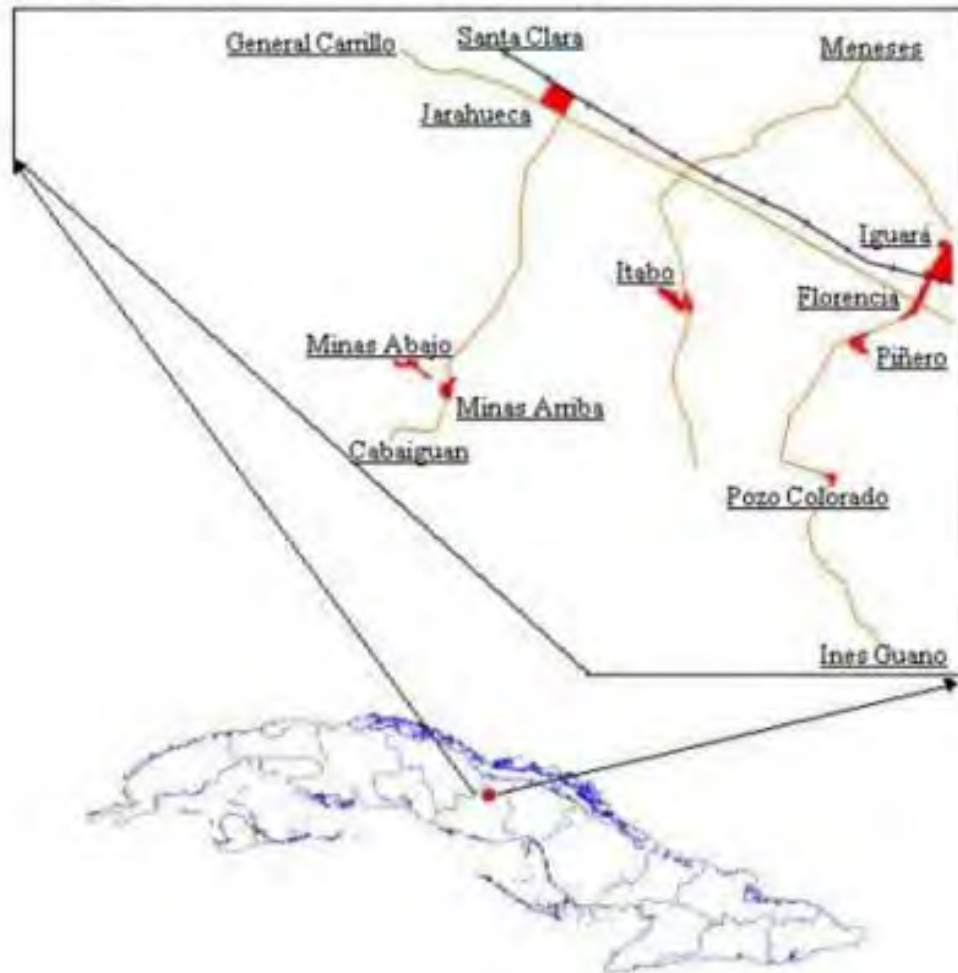
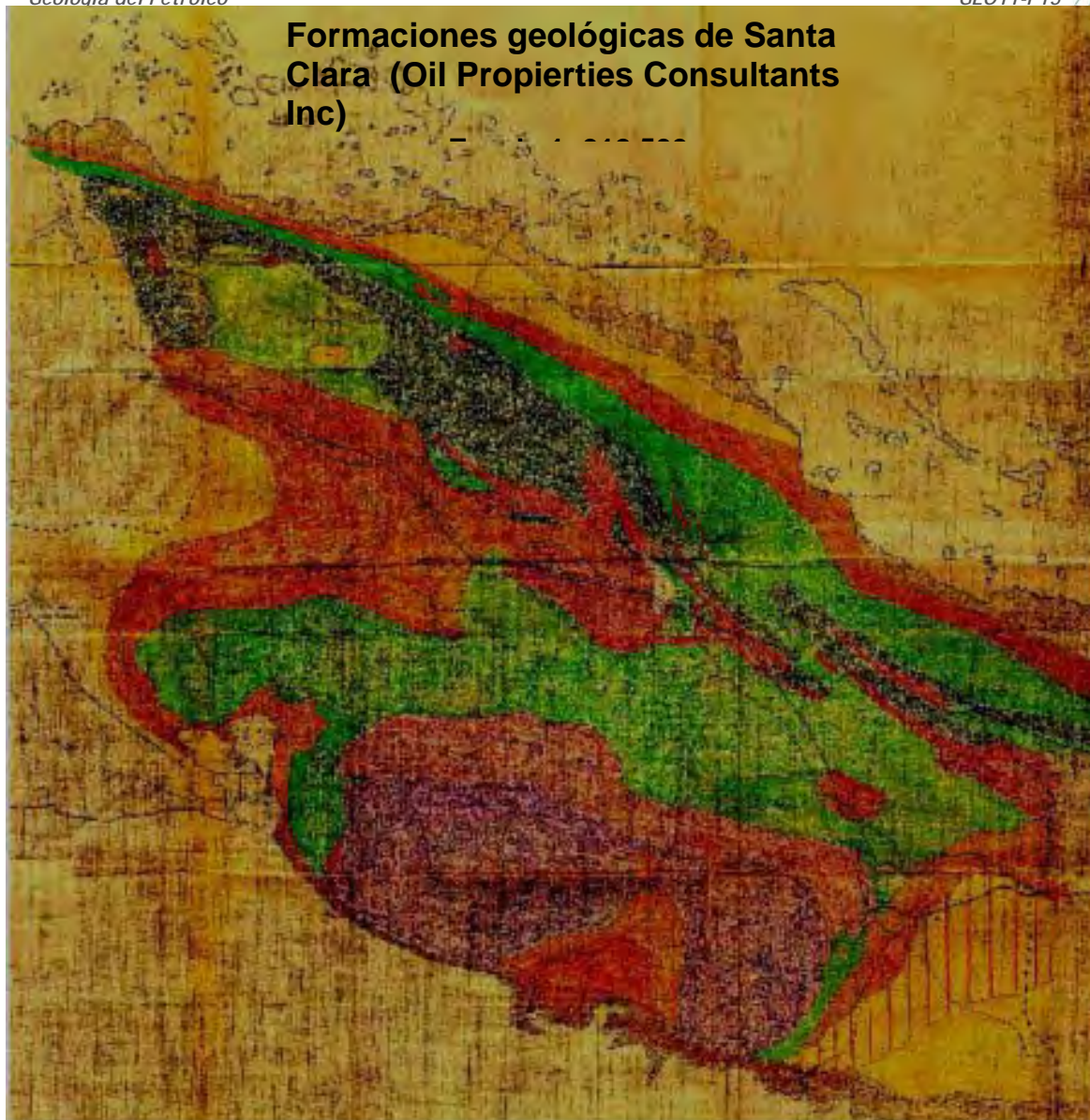


Fig. I Mapa de Ubicación geográfica del área Jarahueca



## Formaciones geológicas de Santa Clara (Oil Propierties Consultants Inc)



	Cuaternario reciente		Oligoceno inferior a medio		Cretaceo Superior y tobas		Cretaceo Inferior
	Cuaternario Pleistoceno		Eoceno medio a superior		Cretaceo Cayetano		Esquisto
	Mioceno inferior a medio		Eoceno inferior a medio		Cretaceo Superior		Jurásico Superior
	Oligoceno -mioceno		Cretácico Superior		Cretaceo Vinet		
	Oligoceno medio a superior						

Fig. II Mapa de Formaciones Geologicas.

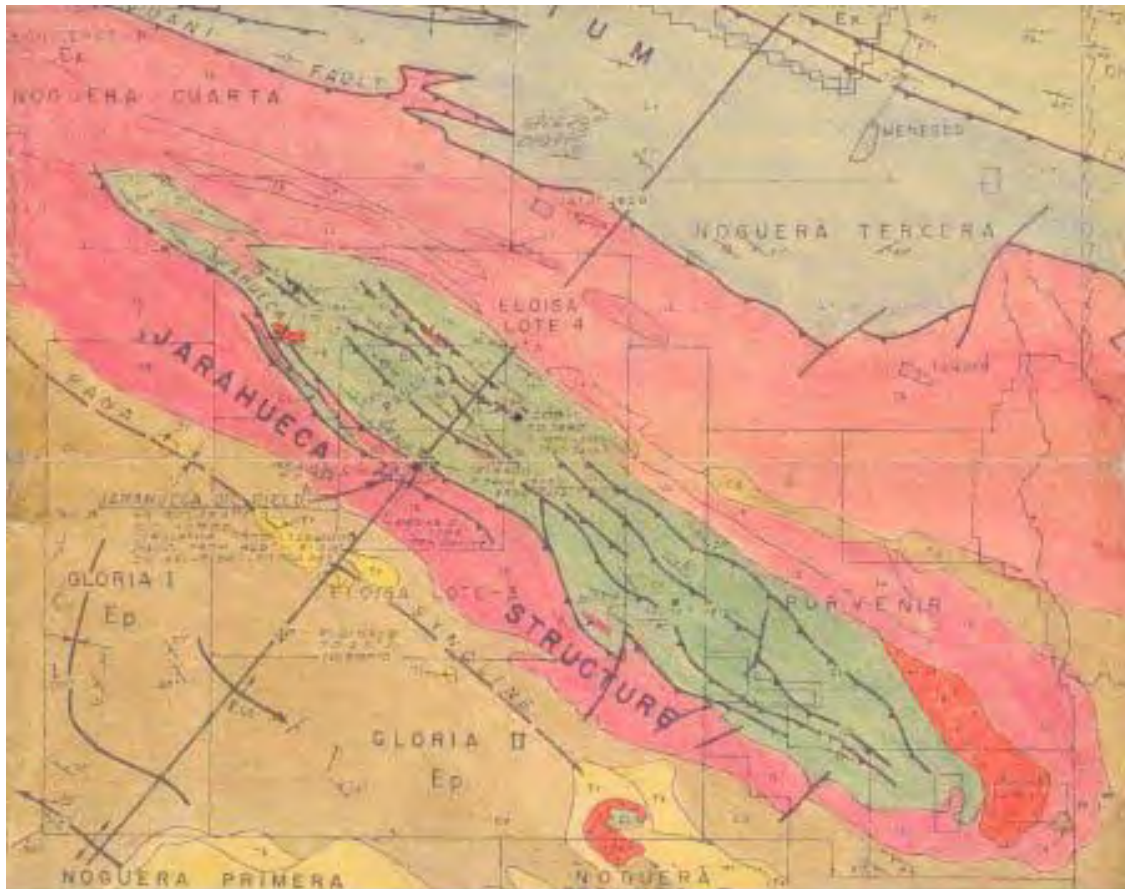
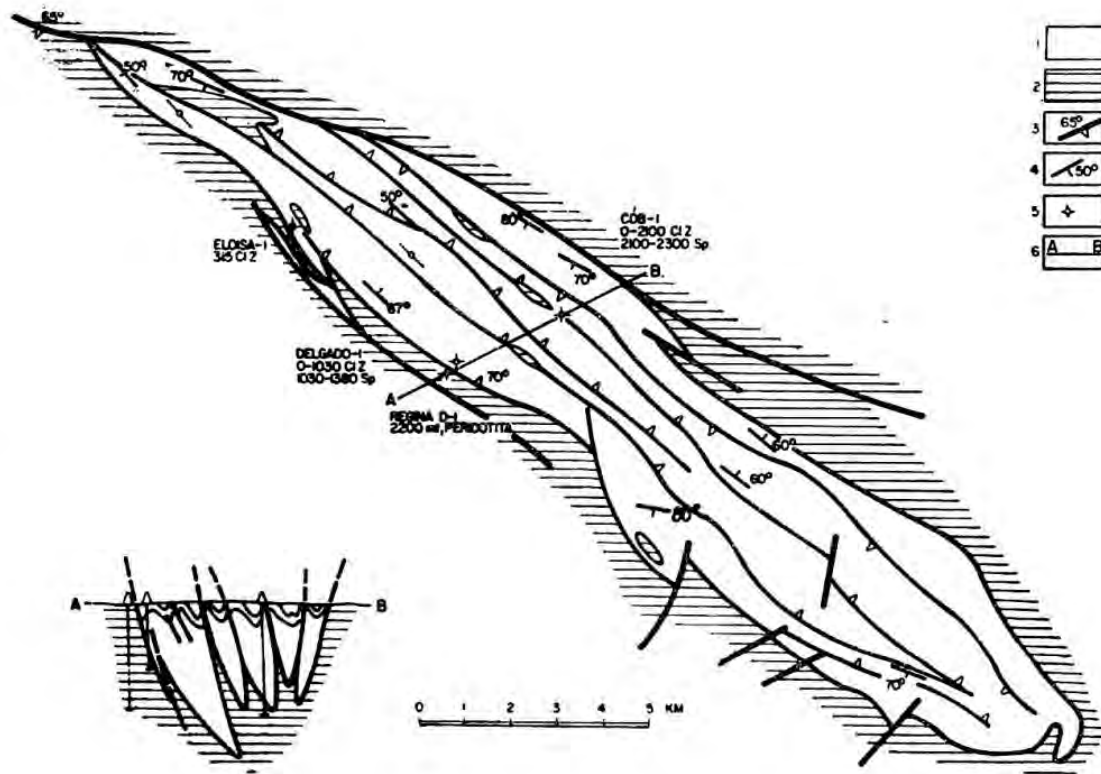


Fig. III Mapa Geológico generalizado del centro y norte de la provincia Las Villa.





Esquema de la estructura del lente tectónico de Jarahueca (según Ducloz, 1958; y los autores). 1 — Sedimento de la zona de Placetas, sin separar. 2 — Serpentinitas. 3 — Dislocaciones disyuntivas y sentido del buzamiento de sus planos. 4 — Dirección del buzamiento de las rocas. 5 — Pozos. 6 — Línea del perfil.

Fig. IV Cuña Tectónica de Jarahueca



## MAPA DE LOS DOMINIOS PALEOGEOGRÁFICOS, CONJUNTOS PETROTECTÓNICOS Y CUBIERTA DEL NEOAUTÓCTONO DE LA REPÚBLICA DE CUBA CON FINES PETROLEROS

**Evelio Linares Cala<sup>(1)</sup>, Juan G. López Rivera<sup>(1)</sup>, José O. López Quintero<sup>(1)</sup>,  
Lourdes Miranda Góngora<sup>(1)</sup> y Julio Gómez Herrera<sup>(1)</sup>**

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, calle Washington N0.169 esquina a Churrucá, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. ZIP 12 000, E-mail: bello@ceinpet.cupet.cu

### RESUMEN

El presente trabajo es un ensayo del empleo de la Terrenoestratigrafía en la constitución geológica de la República de Cuba. Tiene como fundamentos la tesis Doctoral del primer autor y los datos geológicos de superficie más las perforaciones de cientos de pozos petroleros realizados en la República de Cuba.

Se ilustra geológicamente de una forma rápida a los especialistas petroleros que no han tenido relación directa con la Geología de Cuba y su entorno.

En lugar de emplear las Unidades Tectonoestratigráficas o unidades geológicas, se apela a los Dominios Paleogeográficos y sus correspondientes Conjuntos Petrotectónicos.

Se muestran los DP de Corteza Oceánica (CO) los del Arco Volcánico Cretácico (AVC), del Margen Continental (MC), del Arco Volcánico Paleogénico (Arco Turquino), así como las cubiertas de Cuencas Superpuestas y del Neoaútóctono.

Empleando decenas de unidades litoestratigráficas del Mapa Geológico de la República de Cuba se llega a una obra que sirve de base a otros mapas de contenido geológico. Con los datos de pozos petroleros se muestra una "tercera dimensión del Mapa", los DP que existen bajo el Neoaútóctono o bajo los mantos tectónicos.

### ABSTRACT

This work is an essay of employing Terrainstratigraphy in the geologic constitution of Cuban Republic. The basis are the Doctor Tesis of the first autor and geological data from outcrops, and also the drilling results from hundreds of oil wells.

It is geologically illustrated, in brief form, to oil specialists wich had not direct relations with Cuban geology and its upset.

They are employed the Paleogeographic Dominions and their Petrotectonic Assemblages, in place of Tectonostratigraphic Units or geological units. They are showed PD from Oceanic Crust (OC), Cretaceous Volcanic Arch (VCA), Continental Margen (CM), Paleogenic Volcanic Arch (Turquino Arch) and also the covers of superimposed basins and from the Neoautochthonous.

Employing tenths of lithostratigraphic units of the Cuban Republic Geological Map, we obtained a remarkable work as a basis for another maps of geological content Employing oil data it is showed the "Map 3D", the PD under the Neoatochtonus or under the tectonic sheets.

## INTRODUCCIÓN

La búsqueda del petróleo en el mundo, al igual que la de los yacimientos de minerales metálicos útiles, se rige por premisas geológicas. Existen señales que indican que en determinados escenarios geológicos existieron condiciones favorables para su acumulación en tanto en otros no. Hasta el presente, la presencia del petróleo en Cuba se relaciona con aquellas rocas depositadas hace millones de años en un Dominio Paleogeográfico de Margen Continental. En menor proporción, hay reservorios coligados con rocas de la Asociación Ofiolítica, las del Arco Volcánico Cretácico y la de Cuencas Superpuestas más jóvenes.

El territorio de la isla de Cuba, está estructurado geológicamente en forma de un Cinturón Plegado y Sobrecorrido donde se yuxtaponen diferentes Dominios Paleogeográficos que fueron cubiertos a partir del Eoceno Superior por las secuencias del Neoaútctono, precisamente en el mismo lugar donde hoy se emplaza el Archipiélago Cubano. Así las cosas, los autores creen conveniente aplicar los métodos de la Terrenoestratigrafía como un ensayo metodológico para analizar la historia de su evolución geológica, desde la época cuando todo era un territorio unido que formaba el Supercontinente PANGEA, hasta la época actual, después de ocurrir fenómenos de una tectónica compresiva que condicionaron la yuxtaposición y sobrecorrimientos que modelaron el Cinturón en cuestión.

La Terrenoestratigrafía es una vía estratigráfica que hace énfasis en la yuxtaposición de Dominios Paleogeográficos. Ellos representan regiones de deposición en la superficie terrestre de dimensiones considerables en el presente o pasado geológico, cuyo emplazamiento e historia de la evolución, se individualiza por la geodinámica de la tectónica de placas.

Los Conjuntos Petrotectónicos son paquetes líticos depositados en Dominios Paleogeográficos específicos, que indican los límites de placas o áreas dentro de una placa litosférica.

Visto así el panorama geológico, cuando se hacen análisis multidisciplinarios para la búsqueda del petróleo, no se puede hacer una Estratigrafía simple. Tiene esta que ser relacionada con la geodinámica. Las estructuras no pueden contemplarse como entes geométricos, los análisis para la búsqueda del petróleo tienen que armonizarse con la cinemática de las placas litosféricas, por lo que las deformaciones y desplazamientos de masas rocosas tienen que observarse científicamente, incluyendo la convergencia de placas, la transcurrancia y acreciones tectónicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para hacer el Mapa que se presenta, se analizaron las secuencias estratigráficas y los fenómenos sedimentológicos conocidos en Cuba. En los informes de levantamientos geológicos detallados escala 1:50 000 y en la Estratigrafía que se hace para investigaciones petroleras, hay una excelente base de estudios de sedimentogénesis, facies, y estratigráficos en general, que permiten clasificar los diferentes Dominios Paleogeográficos. Se precisa que las sedimentaciones más antiguas son propias de un régimen de riftogénesis, el Synrift, donde todavía no se puede testimoniar sobre una apertura con su Margen Continental. Los tipos de formaciones posteriores, responden a un régimen de Margen Continental depositadas a diferentes profundidades. En diferentes





paleolatitudes y en diferentes épocas, ocurrieron dos arcos volcánicos, uno Cretácico y otro Paleogénico. En el evento de apertura se generaron rocas ultrabásicas y básicas que en sus diferentes tipos forman la Asociación Ofiolítica bien expuesta en Cuba. Por último, hay testimonios de Cuencas de Piggy – Back y frontales con una cubierta del Neoaútóctono.

Todo el conocimiento y desarrollo en la cartografía geológica alcanzado en este trabajo está basado en mas de un 40% de nuestro territorio, cartografiado a escalas medias y de de detalle, apoyado con la perforación de numerosos pozos profundos para la exploración petrolera. Estos levantamientos, se generalizaron para el Mapa Geológico de Cuba a escala 1:250 000 (Pushcharovski, Yu. M. et. al. 1988).

Todo esto ha creado un volumen de información extraordinario, el cual, analizado en su estado convencional atenta contra la misión de facilitar la administración del conocimiento contenido en ellos y a la toma de decisiones.

Esta compleja manipulación del conocimiento se materializó en forma digital y se instrumentó en una plataforma tecnológica adecuada que es la tecnología de los Sistemas de Información Geográficos (SIG). De este modo el análisis espacial, geográfico y geológico queda estructurado en un sistema de hardware, software, procedimientos y esquemas de operaciones que permiten la necesaria actualización y operatividad para el geoprocusamiento, por parte de cualquier especialista interesado (Aronoff, S., 1991).

La serie de información cuenta con una topografía en escala 1: 250 000, que asegura la consistencia de una correcta lectura interpretativa y realce de determinados accidentes geológicos, una continuidad de 23 mosaicos topologicamente procesados (principalmente de nodos y polígonos) , con un nivel de lectura básico mediante tramas y colores para la identificación de los elementos mapeados.

El sistema de referencia cartográfico utilizado, fue la representación plana del Sistema de Cuba, Lambert Conformal Conic (Cuba Norte).

El elemento base es el mapa geológico 1: 250 000 (Pushcharovski, Yu. M. et. al. 1988), reelaborado por los autores y el grupo de Productos Informáticos INFOPET, 1997, de donde se generalizaron los Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónicos, con sus asociaciones estructurales más significativas, en función de los complejos aflorantes.

Para la representación de los dominios en el subsuelo, se representan las columnas estratigráficas de 99 pozos que cuentan con su información primaria (ubicación espacial y pertenencia a la división política administrativa). La escala vertical de cada columna de pozo mostrada, posee una razón de profundidad en función de la escala de trabajo igual a 0.2.

El fondo topográfico 1: 250 000 posee la información referente a viales, puntos de poblado, elementos orográficos más importantes y la hidrografía principal.

La leyenda del mapa lo constituyen principalmente los patrones de color + trama para los Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónicos y su descripción consiste en sus componentes formacionales. La leyenda complementaria describe la simbología utilizada en las columnas estratigráficas. De cierta manera, es una Leyenda Zonal. (Ver Figura 1).

Se estima que la precisión o exactitud planimétrica de los elementos geológicos que afloran poseen un error medio cuadrático de 50 metros.

La consistencia lógica del mapa se encuentra en la continuidad de las unidades geológicas y su relación topológica, con una vigencia actual para esta escala, con

actualizaciones recientes para los lugares discrepantes con el modelo geológico preconcebido.

La forma de distribución del mapa es en formato de papel en escala 1: 500 000 y digital instrumentado en un SIG.

## RESULTADOS

En el Mapa a escala 1:500 000, se separan los siguientes Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónicos :

- ◆ Conjunto Petrotectónico del Basamento Continental de Norteamérica.
- ◆ Conjunto Petrotectónico de rocas metamorizadas de una edad no establecida.
- ◆ Dominios Paleogeográficos del Synrift y Synrift Tardío.
- ◆ Dominio Paleogeográfico de la Corteza Océanica (Apertura).
- ◆ Dominio Paleogeográfico del Margen Continental.
- ◆ Dominio Paleogeográfico del Arco Volcánico Cretácico.
- ◆ Dominio Paleogeográfico de las Cuencas Superpuestas.
- ◆ Dominio Paleogeográfico del Arco Volcánico Paleogénico.
- ◆ Dominio Paleogeográfico del Neautóctono.

### CONJUNTO PETROTECTÓNICO DEL BASAMENTO CONTINENTAL DE NORTEAMÉRICA

Representado por las rocas más antiguas de Cuba, los mármoles flogopíticos y los calcíferos de la Formación Sierra Morena, que constituyen bloques emplazados tectónicamente junto con las rocas del Margen Continental por la zona sur del poblado de Sierra Morena y la Teja, provincia de Villa Clara. Las dataciones radiométricas de estas rocas, oscilan entre 910-941 millones de años, correspondiendo al Neoproterozoico (Renne, P. R., et. al. 1989).

### CONJUNTO PETROTECTÓNICO DE ROCAS METAMORFIZADAS DE UNA EDAD NO ESTABLECIDA

Representado en la parte norte del Macizo Guamuhaya en Cuba Central por la Formación Loma La Gloria, el Complejo Mabujina, Eclogitas y los Esquistos Algarrobo. En la zona de Maisí en la provincia de Guantánamo aflora la Formación Güira de Jauco y al norte de Mayarí Arriba la Formación La Corea en la provincia de Santiago de Cuba que también se incluyen en este grupo.

### DOMINIOS PALEOGEOGRÁFICOS DEL SYNRIFT Y SYNRIFT TARDÍO

En algunas publicaciones sobre la Geología de Cuba, inadecuadamente se refieren algunas formaciones al Margen Continental. Así, se incluyen las Formaciones San Cayetano y otras similares que fueron depositadas en cuencas semigrábenes controladoras de sedimentaciones salinas (Synrift Salino) y otras que marcan la transición hacia el episodio de apertura (Synrift Tardío), como la Fm. Constancia y la Fm. Castellanos. Las unidades depositadas en ambientes continentales hasta deltáicos, que devinieron conectados al océano, testimoniado este aspecto por las calizas de ambiente nerítico de la fase más tardía de su desarrollo, se separan en el presente Mapa como



Dominio Paleogeográfico del Synrift, distinguiéndose el Synrift Clástico (Formaciones San Cayetano SC1, Fm. Cañada, Fm. Sierra Verde); Synrift Salino ("Cunagua Salt", Domos Salinos de la Fm. Punta Alegre); Synrift Tardío (Fm. San Cayetano SC2, también Fm. Castellanos; Fm. Agua Santa, Fm. Constancia, Fm. Cobrito), (Linares, E., 2004).

Algunas de estas unidades, por fenómenos de metamorfismo regional, sufrieron cambios, pero todavía muestran sus protolitos originales, por lo que en esta investigación se aprecian como Synrift metamorizado (Formaciones Arroyo Cangre, Cobrito, Naranjo, Chispa, Felicidad). El DP Synrift, tiene edades desde el Triásico Tardío hasta la parte baja del Jurásico Superior siendo su datación principalmente por flora fósil, (Areces-Mallea, A., 1990 y 1991). Se desarrolla en la Isla de la Juventud, Macizo de Guamuhaya, Sierra de Guaniguanico y en menor proporción en Sierra Verde en la provincia de Guantánamo. Responde a deposiciones que ocurrieron en una gran área del Supercontinente Pangea que se dividía en depresiones menores, donde se depositaban elementos terrígenos de diferentes partes del supercontinente.

Las sedimentaciones evaporíticas afloran o se detectan por pozos petroleros en San Adrián al norte de Matanzas y en Punta Alegre, Turiguanó y Cunagua en la provincia de Ciego de Avila.

## **DOMINIO PALEOGEOGRÁFICO DE LA CORTEZA OCÉANICA (APERTURA)**

Al ocurrir la apertura de Proto – Caribe, el Golfo de México y el Océano Atlántico presumiblemente entre el Calloviano y Oxfordiano, a la vez que comenzaban los depósitos carbonatados propios del Margen Continental, se formaban en otras latitudes las rocas de un Dominio de Corteza Océánica, (Iturralde-Vinent, M., 1998). Se examina la Corteza Océánica Metamorizada, las Diabasas de la Formación Zurrupandilla, la Asociación Ofiolítica y el Melange Serpentinítico.

La Corteza Océánica metamorizada, incluye rocas ultrabásicas y básicas metamorizadas, esquistos serpentiniticos, talquitas, antigorititas tipo Pelo Malo, metagabros y la Formación Yayabo del Norte del Macizo Guamuhaya, en Cuba Central. Especialmente se separó la Formación Zurrupandilla bien expuesta en Cuba Central.

La Asociación Ofiolítica, está muy difundida en el territorio nacional, representada por serpentinitas, harzburgitas, lherzolitas, wherlitas, dunitas serpentinizadas, gabroides no diferenciados, gabros y diabasas. Se exponen mucho en las provincias centrales de Cuba, en las provincias de Camagüey, Holguín, Las Tunas, Santiago de Cuba y Guantánamo. Cuerpos menores se detectan en las provincias habaneras y Pinar del Río. En la zona oriental se incluye el llamado Complejo de Diques Paralelos de Diabasas bien expuestos al suroeste del poblado de Mayarí, provincia de Holguín y también aflora por la zona norte de las provincias de Sancti Spíritus y Ciego de Avila.

Las rocas de la Asociación Ofiolítica, sirven de "lubricante" de los mantos de sobrecorrimentos, por lo que se observan como mezclas tectónicas (melange) en muchos territorios. En el Mapa sólo se resaltó al norte de Holguín en la llamada Formación Yaguajay que es un Melange Serpentinítico, pero es muy común en otras zonas de Cuba.

## **DOMINIO PALEOGEOGRÁFICO DEL MARGEN CONTINENTAL**

Distinguido desde el Calloviano – Oxfordiano, hasta el Turoniano con los CP de rocas pelágicas, rocas de canal y rocas de plataforma con una distinción de las mismas metamorizadas, (Linares, E., 2004).



Existen datos geológicos y geofísicos que demuestran que ya entre el Calloviano y el Oxfordiano, el mar estaba ocupando algunos de los espacios que se creaban por el evento de deriva en los asentamientos paleogeográficos de Proto-Caribe y Proto-Golfo de México, (Sánchez-Arango, J., y R. Attewell, 1993).

En la presente pesquisa, se ha querido mantener las arraigadas Unidades Tectonoestratigráficas del Occidente y Centro de Cuba como una forma de organización de los conjuntos petroectónicos. Sin embargo, se quiere significar que no existen marcadas diferencias en su composición petrogénica ni de fósiles. Se particularizan las rocas pelágicas de las UTE La Esperanza (Fm. Esperanza), Sierra de Los Órganos y Sierra del Rosario (Formaciones Buena Vista, Santa Teresa, Pons, Lucas, Polier, Jagua, Sierra Azul, Artemisa, El Americano, Guasasa, Miembros Tumbadero, Tumbitas, Infierno, Martín Mesa).

Además, en las Sierras de Los Órganos y del Rosario hay rocas carbonatadas de plataforma que también se detectan en los pozos profundos de la UTE La Esperanza (Miembro San Vicente de la Fm. Guasasa). Se separa el singular Bloque Pan de Guajaibón, por no corresponderse exactamente con las otras rocas de plataforma como la del Miembro San Vicente o las del Grupo Remedios de Cuba Central y Occidental. A diferencia de la Fm. Guajaibón, en las formaciones equivalentes en edad de Cuba Central, hay sedimentos ricos en Rudistas típicos de ambientes de barras y bancos conchíferos en tanto en la Fm. Guajaibón, se observa aporte clástico, que aunque insignificante, denota conexión con áreas continentales. De hecho, esta formación es de aguas algo más profundas. En la Formación Guajaibón dejó su impronta la discordancia del Cretácico Medio manifestada por horizontes de bauxita intercalados en la unidad.

Rocas de este Dominio existen en la parte central de Cuba. Han sido muy estudiadas por perforaciones petroleras del norte de las provincias habaneras y de Matanzas.

Se aprecian las rocas silíceas y pelágicas del Margen Continental de la UTE Placetás (Formaciones Veloz, Fidencia, Martín Mesa, Santa Teresa y Carmita). Los geólogos y geofísicos de CUPET emplean en las columnas de pozos el Grupo Veloz, que comprende las Formaciones Cifuentes, Morena y Ronda.

Dentro de las rocas pelágicas del Margen Continental en la UTE Camajuaní, se singularizan las Formaciones Mata, Margarita, Paraíso, Trocha, Meneses y Colorado.

Durante el Hauteriviano y Barremiano, se mantuvieron las condiciones parecidas a las del Berriasiano y Valanginiano en el margen Continental de rocas de aguas profundas (UTE Placetás y Camajuaní). Al final del Barremiano, comenzaron a ocurrir eventos que condicionaron la división de las UTE Remedios y Cayo Coco y la acumulación de sedimentos que tipifican la UTE Colorados (DP de rocas de Canal) que en el Mapa sólo se representa por pozos petroleros.

Las rocas diferenciadas en la UTE Camajuaní son carbonatadas y silíceas de talud. Por último, se aprecia la división de rocas carbonatadas de plataforma de la llamada UTE Remedios que junto con la UTE Cayo Coco, comenzaron desarrollándose como una gran plataforma carbonatada con sus microfacies características desde el Jurásico Superior (Fm. Cayo Coco) hasta el final del Barremiano. En la división del Mapa se agrupan las formaciones de plataforma del Grupo Remedios de Cuba Central (Fm. Palenque, Purio, Vilató) y las Formaciones Gibara y Jobal de Cuba Oriental.



## **DOMINIO PALEOGEOGRÁFICO DEL ARCO VOLCÁNICO DEL CRETÁCICO**

Se examinan el Arco Volcánico propiamente dicho, separando los CP de rocas intrusivas y sus rocas cuando han sido metamorfizadas. Cada Conjunto Petrotectónico de los Dominios, al ocurrir fenómenos de compresión y desplazamiento, se yuxtapusieron teniendo su propia cobertura, registrándose CP característicos de Cuencas Superpuestas.

Este Arco ocupó los mismos niveles geocronológicos que el Margen Continental pero formado en otra latitud. Se data desde los finales del Neocomiano hasta finales del Campaniano. Se particularizan las rocas intrusivas que afloran en varias provincias de Cuba Central y Oriental (Plagiogranitos, granodioritas, granitos, sienitas, dioritas, lamprófidos, granosienitas, cuarzdioritas, tonalitas, gabros, cuerpo de gabro diabasas, diabasas, andesitas y sus diques, gabroides no diferenciados y otras rocas intrusivas). De ellas existen excelentes estudios de varios especialistas cubanos y extranjeros.

El Arco Volcánico Cretácico aflora en Pinar del Río representado por las Formaciones Encrucijada, Quiñones y Orozco. Hay rocas intrusivas y gabroides en pequeños cuerpos detectadas también por pozos petroleros. Hacia las provincias habaneras torna a los apelativos de Formaciones Chirino y La Trampa en tanto que en Cuba Central se expone como Formaciones Provincial, (Miembros Guaos, Diego, Gómez), Mataguá, Seibabo, Bruja (Miembros Abreus y Agabama), Cotorro, Salvador, Maquey, Hilario, Palmarito, Carlota, Arimao y Felipe. Se resaltan las intrusiones de cuerpos de gabros, dioritas, plagiogranitos, granodioritas y lamprófidos. El arco metamorfizado está representado en esta región por la Formación Yaguanabo.

En las provincias de Camagüey y Ciego de Avila existen grandes áreas de manifestación de rocas efusivas, intrusivas y piroclásticas del AVC. Se incluyen las Formaciones Guáimaro, Crucero de Contramaestre, Martí, Caobilla y Vidot con gran desarrollo de cuerpos intrusivos del Arco Tardío representado por granodioritas, dioritas, sienitas y otros granitoides. En la zona del Norte de las provincias orientales, se describe la Fm. Iberia y Santo Domingo, en tanto en la Zona Sur con razón se clasifica la Fm. Turquino en la Sierra Maestra. Este Arco Volcánico, aflora metamorfizado en varias zonas, pero conserva la estructura de sus protolitos típicamente vulcanógenos y vulcanógeno – sedimentarios. Así se observa en algunos cuerpos al Norte del Escambray, dentro de las montañas por la zona de Yaguanabo (Fm. Yaguanabo) y en grandes áreas en la provincia de Guantánamo con un metamorfismo de alta Presión y baja Temperatura conocido como Formación La Farola.

## **CUENCAS A CUESTAS (PIGGY – BACK)**

Un aspecto que se resalta en este análisis, es que en el Campaniano Tardío cesó el AVC y sobre el mismo se depositaron rocas siliciclásticas y carbonatadas de varios tipos, en cuencas auestas, teniendo como substrato mantos de distintas naturaleza que estaban sobrecorriéndose, tantos del AVC, como de ofiolitas y los del Margen Continental de aguas profundas.

De Cuba Occidental a Cuba Oriental se distingue:

En las Sierras de Los Organos y del Rosario afloran y se registran en pozos petroleros las Formaciones Cacarájicara (muy estudiada para el Contacto K-T), Pica Pica (Manacas) y la singular Fm. Ancón.





En Cuba Central en la llamada UTE Camajuaní se agrupan las Formaciones orogénicas Lutgarda, Vega (Brecha de Sagua), Grande y Caibarién.

A la UTE Placetas se asocian las Unidades Amaro, Vega Alta y Camaján. Las cuencas superpuestas al Arco Volcánico Cretácico tienen formaciones siliciclásticas flyschoides y carbonatadas de diferente granulometría y que tuvieron como fuentes de aportes fundamentales las rocas del AVC y eventualmente mantos de la Asociación Ofiolítica y metamorfitas. Así, se describen decenas de formaciones desde el Campaniano Tardío hasta el Eoceno Superior. Muchas de estas unidades pudieran ser equivalentes faciales y temporales como se mostró en el Mapa Geológico de Cuba 1:500 000 (Linares, E. y colectivo de autores, 1985), no obstante en la Leyenda se reflejan decenas de ellas (Ver Figura 1). Por último las rocas de la Plataforma (UTE Remedios) tienen su cobertura característica: Formaciones: Cabairián, Piedras, Venero, Lesca, Embarcadero, Paso Abierto.

Las rocas de cobertura de Arco Turquino, son algo diferentes, reflejan mucho el vulcanismo del Paleógeno. Igualmente sucede con las intrusiones que las cortan.

Indiscutiblemente, que los CP del Arco Turquino, fueron formados en paleolatitudes diferentes. Ocurren grandes espesores de un conjunto de rocas vulcanógenas, vulcanógeno – sedimentarias con cuerpos intrusivos granitoideos más jóvenes. Se describen las Unidades Litoestratigráficas Vigía Oriental, Caney, Cobre, Pilón, Miranda, Castillo de Los Indios, Hongolosongo y Playa Molino.

Entre el Eoceno Superior y el Reciente las deposiciones ocurrieron en el mismo emplazamiento actual de Cuba, es la llamada etapa del Neoaútctono (Iturralde-Vinent, 1998). Muchas de las unidades de rocas terrígenas y carbonatadas, se extienden por toda Cuba con algunas variaciones, pero en esencia con los mismos fósiles y edad. Tal es el caso de la Fm. Güines entre otras.

## DISCUSIÓN

La separación de los Dominios Paleogeográficos en el sentido de la Terrenoestratigrafía, son claves para estudiar los **SISTEMAS PETROLEROS**.

Los elementos principales a considerar en tales SISTEMAS, requieren conocer diferentes atributos geológicos en el tiempo y espacio para comparar diversas regiones, lo que permitirá ratificar afinidades o diferencias que existieron en el pasado en el entorno regional.

En la literatura geológica sobre Cuba proliferan los términos de “Dominios” tratándose a veces como términos geográficos, sin que medie un análisis geológico integral. En la búsqueda petrolera, sedimentos del tipo Fm. San Cayetano –considerando sólo los horizontes inferiores eminentemente terrígenos-, procedentes de una fuente continental que se destruía-, podrían resultar riesgosos por la poca posibilidad de tener valores de Carbono Orgánico Total (COT) para generar hidrocarburos. Pero existió un momento cuando se depositaba la parte alta de esa unidad, donde las rocas eran más arcillosas y con alto contenido de COT. De hecho, ya el mar estaba invadiendo los semigrábenes. El apilamiento posterior de estos mantos rocosos, condicionó lugares favorables para entrapar los hidrocarburos, considerando areniscas conglomeráticas que tienen cualidades como reservorios, en tanto las de la parte superior (Synrift – Tardío), podrían generar petróleo o gas. Con los Conjuntos Petoectónicos del Margen Continental sucede por el estilo. No resultan igualmente atractivos los de Plataforma que los de las roca pelágicas, las de talud o las de paleocanales. Analizar su contenido de COT y su posición





estructural es importante a la hora de tantear su potencialidad o los riesgos para la búsqueda.

Otro factor que muchas veces resultaba tabú en la exploración, era la presencia de rocas de los Arcos Volcánicos. El contenido de COT en las mismas ha resultado bajo, pero ellas se han manifestado como reservorios. Sus afloramientos, a veces en espesores considerables, no tienen porque descartar la búsqueda. Bajo tales rocas, -cuando yacen las del Dominio del Margen Continental o Synrift Tardío, ricas en COT-, se crean condiciones favorables de Presión y Temperatura que favorecen la generación y entrapamiento de hidrocarburos.

El resultado de la presente investigación, demuestra que cada Dominio tuvo su propia cobertura orogénica después del Campaniano, cuando cesó la manifestación del Arco de Islas Volcánico del Cretácico. Igualmente sucede para el Arco del Paleógeno. El estudio sistémico de estos conjuntos, ayuda mucho a la exploración. Algunas rocas de esta cobertura, se han manifestado incluso con buenos contenidos de COT y en los últimos tiempos, en las Cuencas Frontales han resultado reservorios notables de hidrocarburos.

Cuando se toman muestras para rocas madre, resulta muy importante para los geoquímicos asignar sus resultados a uno u otro Dominio o Conjunto Petrotectónico.

No se tendrían iguales resultados si por ejemplo se toman rocas de la Fm. Guajaibón que de sus rocas coevas del Grupo Remedios de Cuba Central. Se formaron en Dominios Paleogeográficos diferentes. Por supuesto que carbonatos depositados en el Cenomaniano en el Dominio Paleogeográfico del AVC tampoco tendría cualidades para la comparación.

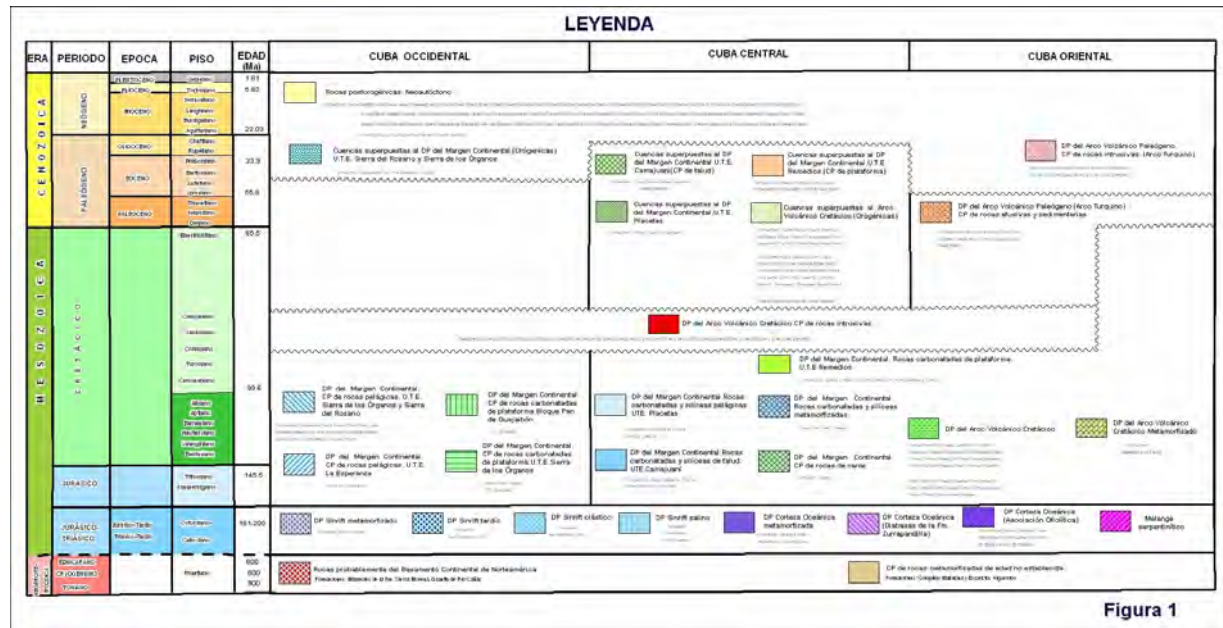
## CONCLUSIONES

- ♦ Las comparaciones de microfacies y paleoambientes sedimentarios realizadas por pisos, permitieron separar varios Dominios Paleogeográficos y Conjuntos Petrotectónicos que se muestran en el Mapa.
- ♦ Para las investigaciones petroleras son muy importantes los DP del Synrift, Synrift Tardío y Margen Continental.
- ♦ La confrontación por pisos de las unidades litoestratigráficas reconocidas en el DP del Margen Continental en Cuba Central y Occidental, a pesar de mostrar eventuales diferencias microfaciales, revelan el imperio de las similitudes en varios atributos geológicos, lo que testimonia sobre la correspondencia de su asentamiento paleogeográfico y la coincidencia de los paleoambientes de rocas coetáneas. Así se muestra en el Mapa.
- ♦ Se muestran las rocas del Synrift Tardío (SC2) por tener un buen contenido de COT, siendo un nuevo elemento a considerar en el potencial petrolero de la región, debido al espesor y desarrollo regional de sus unidades.
- ♦ La metodología de la Terrenoestratigrafía permite mostrar este Mapa para las evaluaciones regionales de la búsqueda petrolera por su connotación tectónica y estratigráfica. A pesar de ello, por su arraigo en la literatura geológica cubana, también se mantienen las Unidades Tectonoestratigráficas (UTE).
- ♦ El Mapa permite separar las zonas con rocas de ambiente de Plataforma, no sólo las tradicionalmente conocidas de la UTE Remedios, sino también, las que se relacionan con las UTE Placetas, Organos y Sierra el Rosario.

- ♦ Como conclusión principal se resalta que: por ser las rocas depositadas en grandes profundidades de Cuba Central y Occidental de un mismo Dominio Paleogeográfico, que existen secuencias potencialmente generadoras de hidrocarburos y que ocurrieron apilamientos por sobrecorrimentos, se condicionaron importantes espesores de rocas madre que se han concentrado en áreas relativamente reducidas en las dos regiones, elevándose así las posibilidades de formar yacimientos, incluso la franja marina norteña, al menos hasta donde se comprueban los sobrecorrimentos por estudios sísmicos. Esto se ha comprobado recientemente con el descubrimiento de prometedores prospectos en la parte Septentrional de Santa Cruz del Norte.

## BIBLIOGRAFÍA

- Areces-Mayea, A., 1990. *Piazopteris branneri* (White) Lorch, Helecho del Jurásico Inferior – Medio de Cuba: Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, v.3, N0.1, p. 25-39.
- Areces-Mayea, A., 1991. Consideraciones paleobiográficas sobre la presencia de *Piazopteris branneri* (Pterophyta) en el Jurásico de Cuba: Revista Española de Paleontología, v.6 (2), p. 126-134.
- Aronoff, S., 1991. Geographic Information Systems. A management Perspective WDL Publications, ISBN 0-921804-91-1, Canada.
- Iturrlade-Vinent, M., 1998. Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica. Vol. 33 N0.1- 4 p. 9-56.
- Linares, E. y colectivo de autores, 1985. Mapa Geológico de la República de Cuba 1:500 000. Fábrica Cartográfica VSEGEI, A. P. Karpinsky, Leningrado, URSS.
- Linares, E., 2004. Comparación entre las Secuencias Mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba Central y Occidental. Significado para la Exploración Petrolera. Tesis Doctoral. Archivo del CEINPET, 133 p.
- Pushchrovsky, Yu. M. et. al. 1988. Mapa Geológico de la República de Cuba, escala 1:250 000 (40 hojas) ACC y AC URSS.
- Renne, P. R. et. al. 1989. 40 Ar/ 39 Ar and U-Pb Evidence for late Proterozoic (Grenville – age) Continental Crust in North – Central Cuba and regional Tectonic Implications. Precambrian Res. 42: 325-341.
- Sánchez-Arango J. and R. Attewell, 1993. Stratigraphy In: the Geology and Hydrocarbon Potential of the Republic of Cuba. Proprietary Report, Simon Petroleum Technology and CUBAPETRÓLEO eds. Llandudno, U.K., Chapter 3 and Box. N0.3.



### DETALLE DE LA LEYENDA



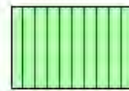
**DP del Margen Continental.  
CP de rocas pelágicas. U.T.E.  
Sierra de los Órganos y Sierra  
del Rosario**

Formaciones: Buenavista, Santa Teresa, Pons, Polier, Lucas  
Guasasa, Jagua, Sierra Azul, Artemisa, El Americano, Martín  
Mesa, Miembros: Tumbadero, Tumbitas, Infierno



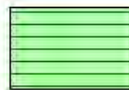
**DP del Margen Continental.  
CP de rocas pelágicas. U.T.E.  
La Esperanza**

Formación: Esperanza



**DP del Margen Continental.  
CP de rocas carbonatadas  
de plataforma. Bloque Pan  
de Guajaibón**

Fm. Guajaibón



**DP del Margen Continental.  
CP de rocas carbonatadas  
de plataforma. U.T.E. Sierra  
de los Órganos**

Miembro San Vicente  
(Fm. Guasasa)

## INTRODUCCIÓN DE BOMBEO DE CAVIDAD PROGRESIVA PARA ELEVACIÓN ARTIFICIAL EN POZOS DE LA EPEP CENTRO.

**Eduardo Pérez Mateu.**

**Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro, Finca “ La Cachurra, Guásimas, Matanzas. E-mail: [epmateu@epepvar.minbas.cu](mailto:epmateu@epepvar.minbas.cu)**

### RESUMEN:

Desde hace muchos años en Cuba se viene utilizando en el Sistema de Bombeo con Cabillas y Balancín (Convencional) para extraer crudo en pozos que no disponen de energía suficiente para producir por surgencia (Elevación natural).

A comienzos de los años 90 se realiza una primera introducción del bombeo de cavidad progresiva por parte de una compañía extranjera, obteniéndose resultados espectaculares desde el punto de vista productivo. Sin embargo es desechada esta tecnología al no lograrse compatibilidad entre el Sulfuro de hidrógeno presente en la producción de los pozos y el elastómero de las bombas, lo cuál motivaba roturas frecuentes haciendo el método ineficiente.

A partir de finales del 2003 se reintroduce el bombeo de cavidades progresivas en pozos de la EPEP Centro aplicando la novedosa variante Metal Metal. Se realiza una prueba en un pozo con altas complejidades para el bombeo convencional y alto contenido de H<sub>2</sub>S en su producción obteniéndose buenos resultados.

El éxito de la prueba abre las puertas a una nueva tecnología para ser utilizada donde el bombeo convencional presenta problemas o resulta excesivamente caro.

Debe aclararse que la necesidad de explotar Yacimientos de petróleo en el mar con pozos perforados desde la costa obliga a perforar pozos cada vez más complejos y difíciles de explotar por Bombeo Convencional, de ahí la importancia de la búsqueda de nuevas tecnologías para este fin.

### ABSTRACT:

For many years in Cuba one comes using Conventional Sucker Rod Pumping Systems to extract oil in wells that don't have enough energy to flow.

In the early 90's was introduced the progressive cavity technology by a foreign company, obtaining spectacular results from the productive point of view. However this technology is discarded when not being achieved compatibility between the Hydrogen Sulfide (H<sub>2</sub>S) present in the oil production and the elastomers of the pump stators which motivated frequent breaks making the method inefficient.

Starting from final of the 2003 is reintroduced the progressive cavity pumping system in wells of the EPEP Centro applying a Metal to Metal PCP System. We carried out a test in a well with high complexities for the conventional sucker rod pumping and high content of H<sub>2</sub>S in their production being obtained good results.

The success of this test opens the doors to a new technology to be used where the conventional sucker rod pumping presents problems or it is excessively expensive.

The oil production from offshore reservoirs with wells drilled from the coast, forces us to drill wells with a very complex geometry, making very hard the use of conventional methods of artificial lift, from there the importance of the search of new technologies for this end.

## INTRODUCCIÓN

A comienzos de los años 90 se introduce la tecnología BCP para la elevación artificial del crudo en pozos del Yacimiento Varadero por parte de Sherritt (entonces CNW ), con lo que se logró un aumento espectacular de la producción, pero poca durabilidad de las bombas debido al alto contenido de H<sub>2</sub>S (promedio 3 meses) por lo que al no poderse resolver el problema se desecha el método de bombeo.

En el año 2000 a partir de una experiencia de SHERRIT en pozos de Puerto Escondido con Bombas del Fabricante CORLAC se decide la compra de dos bombas para hacer una prueba. Se probó una bomba en MB-1X, la cuál falló debido a problemas de espaciamiento y en los pozos de SHERRIT en Occidente la frecuencia de fallas ha sido alta.

En el año 2001 se decide utilizar la bomba que quedaba en el pozo CM-008 que tenía serios problemas en Bombeo Convencional con el manejo de sedimentos en su producción. En esta ocasión el éxito fue total. El pozo lleva ya 3 años sin necesidad de reparación y producciones de más de 70 m<sup>3</sup>d.

En el 2001 PDVSA-Intevep y Netzsch do Brasil realizan estudios experimentales para la utilización de una BCP Metal Metal en crudo viscoso. En septiembre del mismo año se realizan los primeros contactos de CUPET y ambas organizaciones.

En enero del 2002 se produce la visita de un representante de Netzsch a Cuba y se acuerdan varias direcciones de trabajo.

## MATERIALES Y METODOS

Las principales direcciones de trabajo:

- Realizar una Prueba en un pozo de la Empresa con una BCP Metal Metal.
- Empleo en pozos del área periféricos con potencial suficiente de BCP Elastoméricas.
- Realizar pruebas con muestras de elastómeros de Netzsch en pozos de Varadero y Marbella para evaluar comportamiento de los mismos.

Los objetivos de la Prueba:

- Evaluar posibilidades productivas de la Bomba BCP Metal Metal en un pozo característico del área.
  - Petróleo Pesado ( 9 API )
  - Un BSW% medio (25%)
  - Perfil desviado.
  - H<sub>2</sub>S
- Evaluar durabilidad de la Bomba.

Se procede a la selección del Pozo que debía reunir las siguientes características:

1. Perfil Complejo.
2. Alta viscosidad del Crudo.
3. Evidencias de sedimentos en la producción.
4. Condiciones de Bombeo precarias.
5. Frecuentes reparaciones subterráneas.
6. Desgaste de instalaciones de superficie.



## RESULTADOS

- Se probó con buenos resultados una PCP con estator metálico en el área de Marbella.
- Se continúa trabajando en la generalización y optimización del método.
- Se abren posibilidades de solución a los graves problemas de Bombeo de los pozos de Marbella.
- Se obtienen incrementos de producción apreciables en Gs-18

## Resultados Económicos

- La producción incrementada de este pozo en los meses de Abril y Mayo fue de 1585 m<sup>3</sup>.
- Al precio de transferencia de 49\$/Ton esto significa \$77665.
- El costo del sistema de bombeo fue de \$35 000.
- Ya se ha pagado dos veces el costo de la Inversión Inicial. (Menos de dos meses)

## DISCUSIÓN

El pozo seleccionado en los últimos tres meses (en el período del 28 de Julio al 20 de Octubre del 2003) de trabajo con Bombeo Mecánico Convencional, fue necesario intervenir:

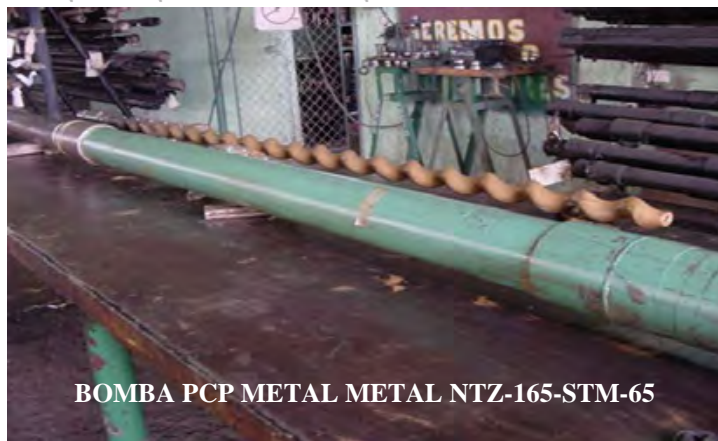
- Dos veces para cambiar bomba.
- Dos veces por cabillas partida o desenroscada.
- Una vez por avería en la UB.
- Se circuló 5 veces.

Se le realizó termocirculación 1 vez.

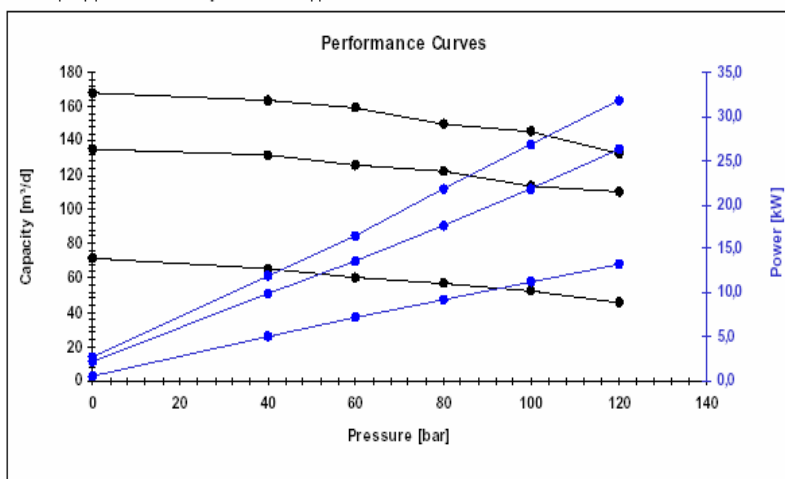
Con estos elementos se seleccionó la bomba que respondiera los requerimientos definidos en los objetivos.

Las características de la Bomba seleccionada:

Denominación: NTZ-165-STM-65  
DP Máximo: 165 bar  
Productividad Máxima 65 m<sup>3</sup>/100 rpm  
Interferencia negativa.  
Resistente al H<sub>2</sub>S.  
Mejor manejo de sedimentos.  
Estator: Hierro Fundido  
Rotor: Acero Cromado



**Curva de Comportamiento de la Bomba**





### **Instalación de la Bomba en el Pozo.**

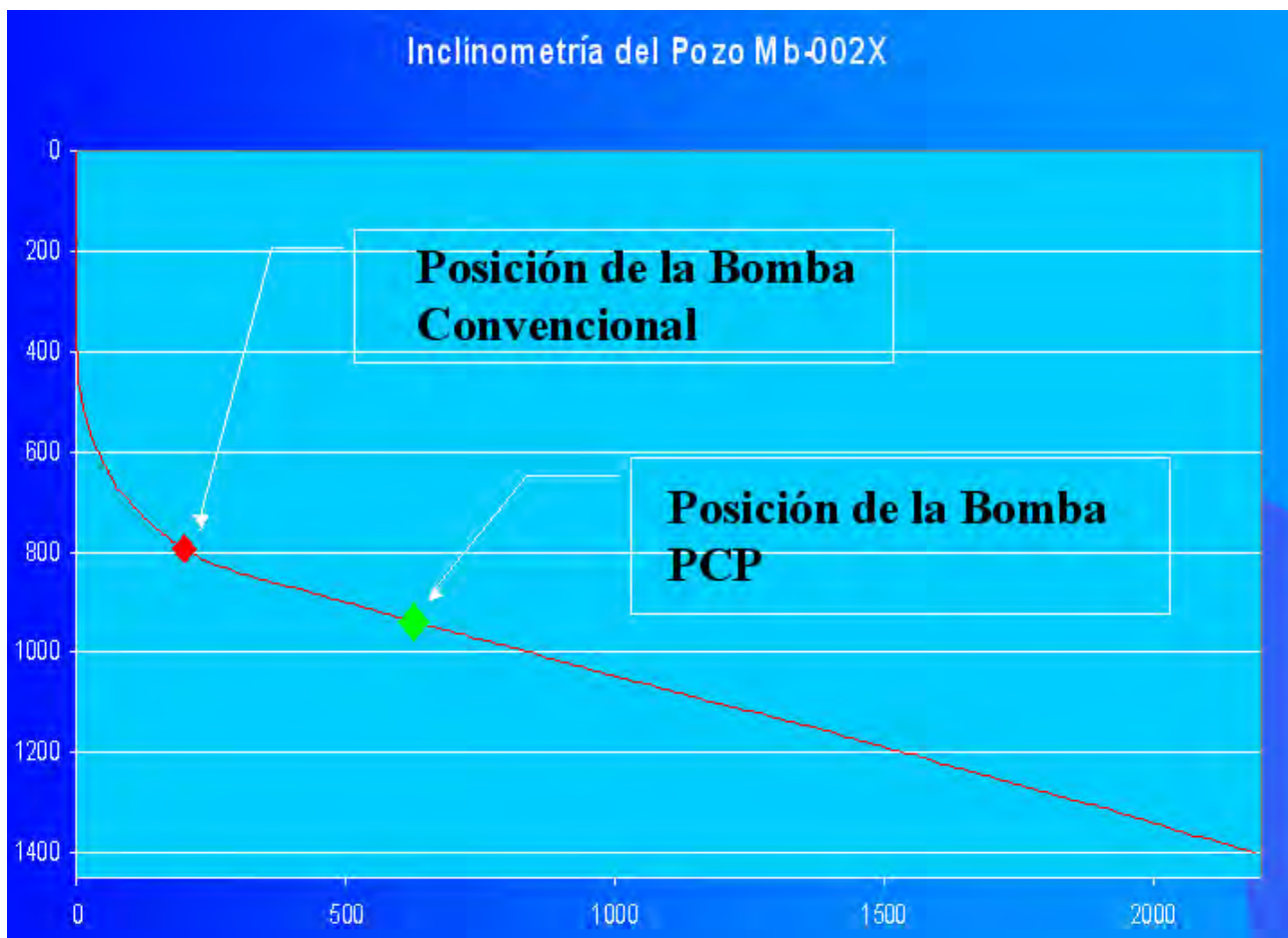
Se utilizó tubería de 4 ½" y cabillas de 1" de diámetro.

Se cuelga la tubería en la Sección B. (11")

La profundidad del anclaje es 1200 metros.

Teniendo en cuenta las dificultades para bombear agua, el control del pozo se realizó con petróleo de 15 grados API de Guásimas-18.

Se utilizó cabezal de CORLAC.



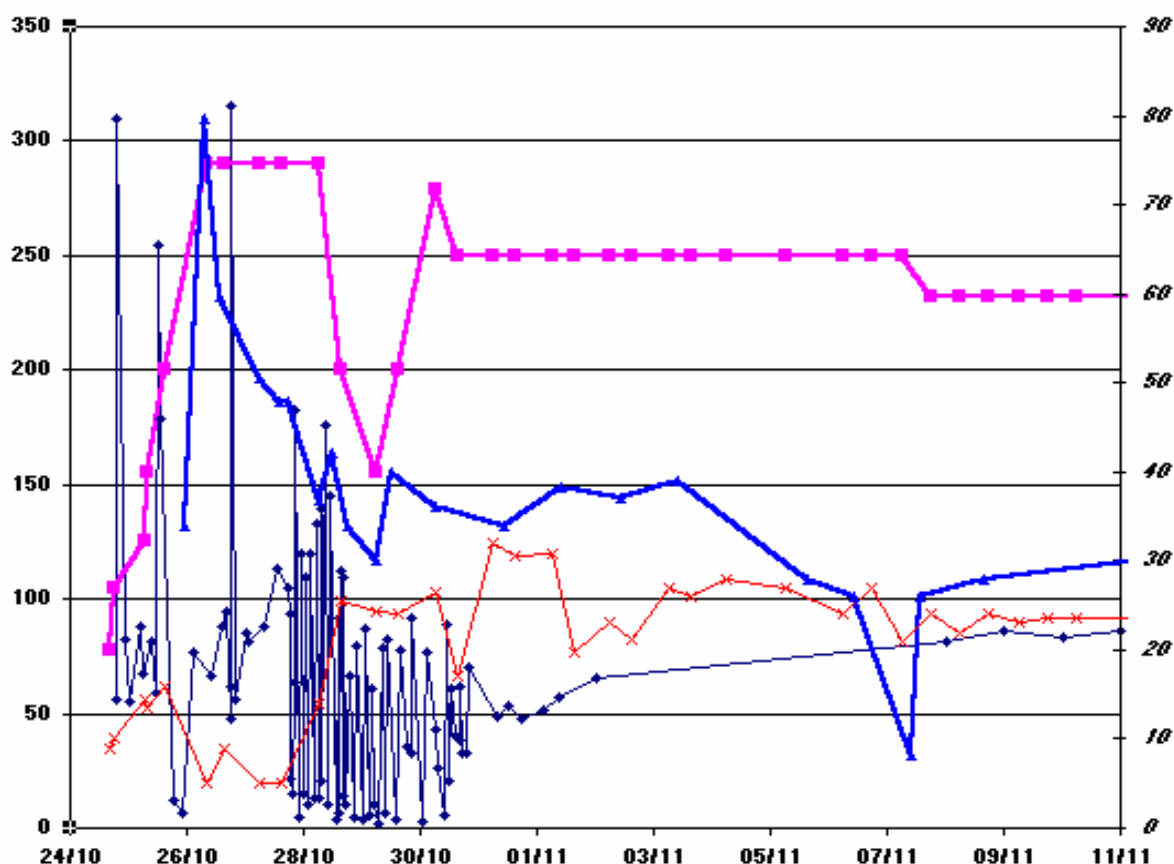
### **Puesta en Marcha**

El 24 de Octubre a las 16:10 se arrancó la bomba con 50 rpm. Se comenzó a medir en el Centro Colector N1.

A las 23:30 se aumentó la velocidad a 125 rpm. Al día siguiente 8:30 am se le subió la velocidad a 155 rpm. Se supera la depresión crítica y se produce un aumento drástico del BSW.

La presencia del agua provocó una disminución drástica de la eficiencia de la bomba. Se incrementa la velocidad hasta 315 rpm y se controla cada 4 horas el BSW, de manera que a medida que el BSW desciende, se disminuye la velocidad de bombeo para no sobrepasar la depresión crítica.

Desde el 11 de Noviembre el pozo está bombeando con Caudales de 85 m<sup>3</sup>/d de fluido, 30% de BSW y 230 RPM, como se ilustra en la siguiente gráfica.



### **Principales Dificultades**

No se pudo medir el pozo desde Noviembre hasta principios de Enero.

Dificultades con las mediciones a finales de Enero.

No se cuenta con herramientas adecuadas para manipular tubería de 4,5".

### **Estado actual de la Bomba**

El 2 de febrero del 2004, se produce la partidura del varillón pulido y se ordena sacar la sarta completa con el rotor para revisar.

Se aprecia un buen estado general del mismo, se observan ligeras marcas de abrasión en las etapas inferiores.

Las señales de desgaste se ven a todo lo largo del rotor, lo cuál indica que estaba bien espaciado

En Mayo del 2004, se decide pasar la bomba para el pozo MB-1R una vez completada la limpieza del caño del mismo.

La bomba es extraída del MB-2X

Se mantienen las mismas observaciones de la ocasión anterior.

En Junio entra en producción nuevamente la bomba. Por espacio de una semana funciona con caudales iniciales de 55 m<sup>3</sup>/d y desciende paulatinamente la productividad a medida que desciende el nivel dinámico en el pozo.

Al cabo de una semana el nivel desciende hasta la bomba debido a poca productividad del pozo.

Se decide acidificar el mismo. La bomba está en el Taller en estos momentos.

## CONCLUSIONES

- La Tecnología PCP Metal Metal funciona con alta eficiencia en petróleos pesados.-La presencia de agua en la producción afecta drásticamente su eficiencia.
- Los requerimientos de potencia no han sido elevados, manteniéndose sobre los 10 a 15 kW. --La Tecnología PCP Metal resiste la presencia de porcentajes elevados de H<sub>2</sub>S en la producción por más de 3 meses.
- Se le dio solución al problema de los sedimentos, pues con el bombeo convencional no era posible manejarlos

### Próximos Pasos

- Probar en MB-02X una bomba con mejora tecnológica para aumentar la eficiencia en presencia de agua.(Bomba Híbrida)
- Extender el uso de esta tecnología a los pozos MB-17 y MB-20 a corto plazo.
- Extender el uso de esta tecnología a los pozos MB-01X y MB-18 y MB-19 a mediano plazo.
- Utilizar en los próximos pozos varillones pulidos de mayor diámetro (38.1 mm)

### Perspectivas Futuras

Continuar trabajando y colaborando en la búsqueda de un elastómero resistente al H<sub>2</sub>S que permita abaratar los costos de esa tecnología.

Extensión del método BCP a pozos grandes productores de Varadero que dejen de surgir por el casing.

Mantener una producción elevada en Pozos Transferidos  
Caso GS-18

Desde el año 2003 se determinó que el pozos Gs-18 poseía potencial para producir hasta 50 m<sup>3</sup>/d en condiciones máximas.

Se determinó a través del Simulador BCPi que era posible operar en esas condiciones con BCP y se solicitó a Netzsch y a CORLAC un diseño para ese pozo.

La oferta más profesional desde el punto de vista técnico y más interesante económicamente fue la de Netzsch y fue la que se adquirió.

Se valoró también la posibilidad de lograr el mismo objetivo con Bombeo Convencional, determinandose que sería necesario colocar una Unidad de Bombeo mucho mayor y más costosa

Primera Bomba Multilobular en Cuba

Resultados Productivos

El promedio de producción del pozo se duplica. De 15 a 20 m<sup>3</sup>/d pasa a 35-40 m<sup>3</sup>/d.

No se logra el objetivo de 50 m<sup>3</sup>/d por decisión de Yacimientos de no provocar sobredepresiones en el pozo.

Alguna inestabilidad en el bombeo debido a la alta relación Dbomba/ Dcasing

### Bibliografía

1. Manual de BCP Netzsch do Brasil.
2. Understanding the Performance of a Progressive Cavity Pump with a Metallic Stator. Jose Gamboa, Aurelio Olivet, Juan Iglesias & Pedro Gonzalez. ATWC-2002.
3. Reportes de Operaciones Internos de EPEP Centro.



## SELECCIÓN DEL POLÍGONO DE INYECCIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL VAPEX COMO MÉTODO DE RECUPERACIÓN MEJORADA DEL YACIMIENTO VARADERO

**Igort Suárez García** <sup>(1)</sup>, **Nancy Córdova Oliveros** <sup>(2)</sup>

**(1) Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: isuares@epepvar.minbas.cu**

**(2) Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo Centro, Finca "La Cachurra", Guásimas, Matanzas. E-mail: ncrdova@epepvar.minbas.cu**

### RESUMEN

Tras la necesidad de nuestro país de aumentar la producción de petróleo, Cupet se ha trazado varios programas, entre estos se encuentra el estudio para la aplicación de métodos de recuperación mejorada de petróleo. Uno de estos métodos ha sido desarrollado conjuntamente con el PRI (Instituto de recuperación de petróleo) de Canadá

Este método llamado Vapex, consiste en la inyección de solventes gaseosos al yacimiento, los cuales, entre otras cosas, disminuyen la viscosidad del petróleo mejorando así su explotación y, por tanto, elevando el coeficiente de recuperación.

El presente trabajo radica en determinar la ubicación de un polígono de prueba, donde se haría el primer intento de inyección de solventes gaseosos y cuyo objetivo es evaluar en condiciones de campo el comportamiento del solvente y del desplazamiento frontal de fluidos, además los resultados aportaran elementos de suma importancia para la posible implantación de este método de recuperación en el yacimiento Varadero.

A través de este estudio, se decidió ubicar un polígono de inyección en el Sector Este y que abarca 23 pozos, los cuales se encuentran ubicados en un área de 50 ha alrededor de los pozos VD-45 y VD-402.

### ABSTRACT

Due the necessity of our country to increase the oil production, CUPET has been traced several programs, among these it has the study for the application of enhanced oil recovery methods. One of these methods has been developed jointly with the PRI (petroleum recovery Institute) of Canada

This called method Vapex, consists on the injection of gassy solvents to the reservoir, those which, they decrease the oil viscosity improving its exploitation and, therefore, increase the recovery factor.

The present work consist in determining the location of a test polygon, where the first intent of injection of gassy solvents would be made and whose objective is to evaluate under field conditions the behavior of solvent and of the displacement front of fluids, the results also contributed elements of supreme importance for the possible installation of this recovery method in Varadero field.

Through this study, it was decided to locate an injection polygon in the East Sector of field and that it include 23 wells, which are located in an area of 50 ha around the wells VD-45 and VD-402.



## INTRODUCCIÓN

Tras la necesidad de nuestro país de aumentar la producción de petróleo, CUPET se ha trazado varios programas, entre estos se encuentra el estudio para la aplicación de métodos de recuperación mejorada de petróleo.

El yacimiento Varadero presenta características físico-geológicas desfavorables del sistema roca-fluido y del régimen energético tales como, rocas calizas fracturadas, heterogéneas, saturadas con petróleo viscoso pesado, que implican que la extracción de sus reservas iniciales en régimen de explotación natural solo alcance el 10 %.

No obstante, debido a las necesidades de elevar el coeficiente de explotación y de crear las condiciones para aumentar el coeficiente final de recuperación se han estudiado diferentes métodos de recuperación secundaria.

Uno de estos métodos se basa en el uso de solventes gaseosos. Este método fue seleccionado debido a los resultados preliminares de las pruebas de laboratorio realizadas por el Instituto de recuperación de Petróleo (PRI) de Canadá con el crudo de Varadero y utilizando como agente de inyección el CO<sub>2</sub>, demostrando la posibilidad de desarrollar un proceso eficiente de recuperación mejorada de nuestro crudo (no un proceso de aumentación de presión), a través del desarrollo de una variante de Vapex, ajustada a las condiciones del campo.

Este método llamado Vapex, consiste en la inyección de solventes gaseosos al yacimiento, los cuales, entre otras cosas, disminuyen la viscosidad del petróleo mejorando así su explotación y, por tanto, elevando el coeficiente de recuperación. El presente trabajo radica en determinar la ubicación de un polígono de prueba, donde se haría el primer intento de inyección de solventes gaseosos y cuyo objetivo es evaluar en condiciones de campo el comportamiento del solvente y del desplazamiento frontal de fluidos, además los resultados aportaran elementos de suma importancia para la posible implantación de este método de recuperación en el yacimiento Varadero.

## MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este trabajo se construyeron varios mapas de diferentes parámetros en los dos sectores de perspectiva seleccionados anteriormente por simulación (Este y Central). Los parámetros mapeados fueron la porosidad, permeabilidad, caudal de petróleo, BSW, RGP, presión de capa, reservas, volumen de producción acumulada, además del tope de la superficie de erosión que representa la morfología estructural del yacimiento. El objetivo que se perseguía era establecer el modelo físico de los sectores para determinar la posición óptima del polígono de inyección.

## RESULTADOS

Se decidió ubicar un polígono de inyección en el Sector Este y que comprende 23 pozos, los cuales se encuentran ubicados en un área de 50 ha alrededor de los pozos VD-45 y VD-402.

Teniendo en cuenta los siguientes parámetros

- Las reservas remanentes



- Posición estructural
- Ubicación de los pozos alejado de la periferia
- Las zonas de baja inundación
- La distribución de los pozos con respecto al pozo inyector
- La distribución vertical de las capas y los punzados del pozo inyector y de los aledaños
- La homogeneidad de la capa donde ocurrirá el desplazamiento con solventes

## DISCUSIÓN

En los procesos basados en el uso de solventes, este se mezcla con el petróleo de capa, reduciendo su viscosidad e incrementando la producción total de petróleo del yacimiento. En algunos casos es posible mejorar el petróleo in-situ por el efecto resultante de la precipitación de los asfaltenos.

Indiscutiblemente toda prueba a escala industrial debe estar precedida por una prueba piloto en un área pequeña del yacimiento, para evaluar, en condiciones de campo, la efectividad del método desarrollado ya en el laboratorio. Es por ello que le presente trabajo persigue recopilar la información para seleccionar un polígono de inyección.

En un estudio reciente, donde se analizaron diferentes características productivas, estructurales, energéticas, etc, de los diferentes sectores en que se ha dividido el yacimiento Varadero, fueron identificados dos sectores del mismo, con características favorables, para su inclusión como áreas de aplicación del Proyecto Piloto VARVAP. Estos sectores resultaron ser el sector Este y Central (ver mapa estructural), donde se seleccionará un polígono, que presente las mejores características para realizar la inyección.

El objetivo fundamental que persigue la prueba piloto es evaluar en condiciones de campo el comportamiento del solvente y del desplazamiento frontal de fluidos en un polígono de prueba y cuyos resultados aportaran elementos de suma importancia para la posible implantación de este método de recuperación secundaria en el yacimiento Varadero. Además de otros elementos tales como la receptibilidad de la capa, evaluación de las posibles canalizaciones hacia los pozos de producción, evaluación de la efectividad del proceso de segregación gravitacional bajo la inyección de gas y experiencias de campo en trabajos con instalaciones de inyección de fluidos gaseosos.

### • BREVE CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS SECTORES.

Dentro del yacimiento han sido separados varios sectores denominados de Oeste a Este, Sector Oasis Nuevo, Oasis, Central y Este, diferenciándose entre ellos por su comportamiento productivo, niveles de productividad diferenciados de los pozos y régimen de explotación.

Para obtener una imagen geológica del área de estudio se elaboró una correlación geológica y una serie de perfiles transversales donde se pone en evidencia tres niveles de fallas que caracterizan la estructura, la presencia de fallas menores o locales de poca significación, las fallas entre mantos principales consideradas de





tipo cerradas, y fallas internas dentro de cada uno de los mantos que determinan la repetición de los horizontes con un engrosamiento del espesor (ver mapa de superficie de Cifuentes y Perfiles).

- **MODELO FÍSICO DE LOS SECTORES DE PRUEBA**

Para establecer el modelo físico se confeccionaron unas series de mapas de diferentes parámetros, así como perfiles geológicos y correlación. Al mismo tiempo como el Manto Central es el mas estudiado con una larga historia de explotación y de pozos perforados la construcción de los mapas se basó fundamentalmente en los datos de este manto.

Mapa estructural: se confeccionó este mapa a partir de los topes de la superficie de erosión del neocomiano observado en cada pozo, observándose que la posición mas elevada estructuralmente se ubica hacia el centro y norte del Sector Central.

Mapa de reservas: se tomó como base el mapa de reservas específicas ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ ), incluyendo los dos Mantos estructurales, obtenida por simulación al cierre del 30 de noviembre del 2000. En este mapa se observa un área de mayor reservas hacia el centro del Sector Central con una isolínea de  $80 \text{ m}^3/\text{m}^2$ . Ver Anexo.2

Mapa de porosidad: se recopilaron las porosidades media del Manto Central atravesados por los pozos, que fueron obtenidas como resultados de la interpretación detallada de los registros geofísicos. La porosidad presenta una distribución bastante uniforme, aunque se observan áreas, principalmente hacia el sur, de valores bajos de porosidad (menos 12 %) cercana a los pozos VD-546, 542, 32 y 524. El valor promedio es de 19 % dentro de un rango que varia de 30 a 4 %.

Mapa de permeabilidad (k): se tomaron los valores de permeabilidad, de los pozos punzados en el Manto Central. Estos valores se obtuvieron de la interpretación de las investigaciones hidrodinámicas realizadas con datos obtenidos de manómetros y algunos calculados con niveles. En la elaboración del mapa no se tenían valores de k en cada pozo, pues no en todos se poseían estos datos y en otros la investigación no tuvo calidad, además existen algunos pozos que producen del Manto Central. En el mapa se observan que generalmente los valores mas elevados se ubican hacia el centro de ambos sectores, obteniéndose como valor medio de 300 md. En este caso pensamos que la permeabilidad media debe ser mayor, ya que existen pozos con un buen comportamiento productivo y no poseen este dato, y esperamos que su permeabilidad sea elevada.

Mapa de BSW: la inundación en los sectores es baja con un promedio de 5 %, solo se observan valores elevados en pozos cercanos al contacto agua petróleo que cierra la estructura hacia el sur y en otros donde al parecer fueron conificados o existían canalización por detrás de la camisa. Ver Anexo 3

Mapa de RGP: en el mapa se aprecian, coincidentemente en casi todos los casos, zonas de alta relación gas-petróleo cercanos a los pozos donde los punzados se encuentran mas elevado estructuralmente. Se observa también que hacia el centro del Sector Central se observa una zona de valores baja RGP rodeada de valores alta, mientras que hacia el sur del Sector Este es donde se concentran los valores bajos de RGP. Esto no significa que no exista un casquete de alta saturación de gas sino que los punzados se ubican en una profundidad mayor (ver correlación). El valor promedio de la RGP en el Sector Central resulta una cifra



cercana a los  $1000 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , debido a que existen unos pocos pozos con valores bastante elevados, mientras que el valor promedio en el Sector Este es menor.

Mapa de isobaras: el mapa presenta diferentes áreas de bajas presión de capa que no siempre coinciden con las de mayor valor de la RGP, ya que los pozos se encuentran punzados a diferentes profundidades. En la mayor parte del área de los dos sectores la presión de capa es inferior a la presión de saturación, esto significaría que la RGP debe ser bastante elevada, pero debido a lo anteriormente descrito sobre la ubicación de los punzados, esto no ocurre de esta forma. El valor medio de la presión de capa para ambos sectores es de aproximadamente 105 atm.

Mapa de caudal de fluido: este mapa se elaboró con el objetivo de tener una idea espacial de la distribución del este parámetro para determinar las zonas más productivas, obteniéndose un área de mayores caudales hacia el centro del Sector Central, mientras que el caudal promedio es de  $10 \text{ m}^3/\text{d}$ . Ver Anexo 4

- Mapa de petróleo acumulado: en este caso se realizó un mapa de distribución de bolas, destacándose zonas de mayor extracción acumulada hacia el oeste del Sector Este y hacia el centro del Sector Central. En este último, hacia el centro del área de mayor producción acumulada se observan pozos con un valor algo menor indicando que aun existe posibilidad de lograr mayores acumulaciones en esta área. El pozo de mayor extracción acumulada en los dos sectores es el VD-104 con más de  $205\,000 \text{ m}^3$  y el de menor el VD-535 con un poco más de  $300 \text{ m}^3$ . Ver Anexo 5

Mapa de la superficie de Cifuentes: el mapa se confeccionó con el objetivo de mostrar la complejidad geológica de los sectores analizados, pues en él se puede apreciar las diferentes fallas y el buzamiento de la capa que caracterizan la estructura geológica del área.

## CONCLUSIONES

Para cada uno de los sectores, previamente seleccionados, se analizaron:

- Las reservas remanentes (usando el mapa de reservas específicas obtenidas por simulación el cierre de noviembre del 2000).
- La posición estructural (tomando la parte más elevadas de esta área y así lograr mayor espesor de drenaje).
- Ubicación alejada de la periferia (distanciada del contacto agua-petróleo y de la falla norte evitando fugas).
- Las zonas de baja inundación (pues el  $\text{CO}_2$  presenta alta solubilidad en el agua).
- La distribución de los pozos con respecto al pozo inyector (cerrando lo más posible el polígono, cubriéndolo con pozos en producción y de control, y desechando los pozos liquidados).
- La distribución vertical de las capas y los punzados del pozo inyector y de los aledaños.
- La homogeneidad de la capa donde ocurrirá el desplazamiento con solventes.

Tomando como punto de partida los criterios anteriores y los materiales gráfico elaborados para establecer el modelo físico, se estableció que el polígono de



condiciones mejoradas para la aplicación de la prueba piloto se encuentra ubicado hacia el centro del Sector Central (ver mapas anexos) e incluye 23 pozos, que son:

VD-26, 38, 45, 46, 104, 303, 306, 402, 538, 539a, 546, 548, 557 en producción  
VD-1, 21, 21a, 56, 406, 407 de control cerrados por gas  
VD-24a, 309, 401, 556 líquidas

La configuración final del polígono resultó debido a que en el área existían varios pozos liquidados y cerrados, y era preciso cerrar el polígono con la mayor cantidad de pozos trabajando y punzados en el Manto Central, además que tuviera una configuración mas uniforme.

El polígono resultante presenta un área aproximada de 502 820 m<sup>2</sup> y en el cual la mayoría de los pozos producen del Manto Central

Valores promedios del polígono:

Porosidad %	Permeabilidad mD	RGP m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	BSW %	Qf m <sup>3</sup> /d	Pcapa Atm
19	300	1500	5	10	105

La inyección del solvente es recomendable realizarla en un área ubicado aproximadamente al centro del polígono por donde se localizan los pozos VD-45 y VD-402. En esta localidad sería necesario disponer de un pozo horizontal o bastante inclinado y que tenga una longitud lo mayor posible para lograr una mayor área de drenaje.

En este caso se puede utilizar uno de estos dos pozos para realizar un caño lateral, si las condiciones técnicas de ellos lo permitiera, aunque no se descarta la posibilidad de perforar un nuevo pozo en esta área, el cual se usaría como pozo de inyección.

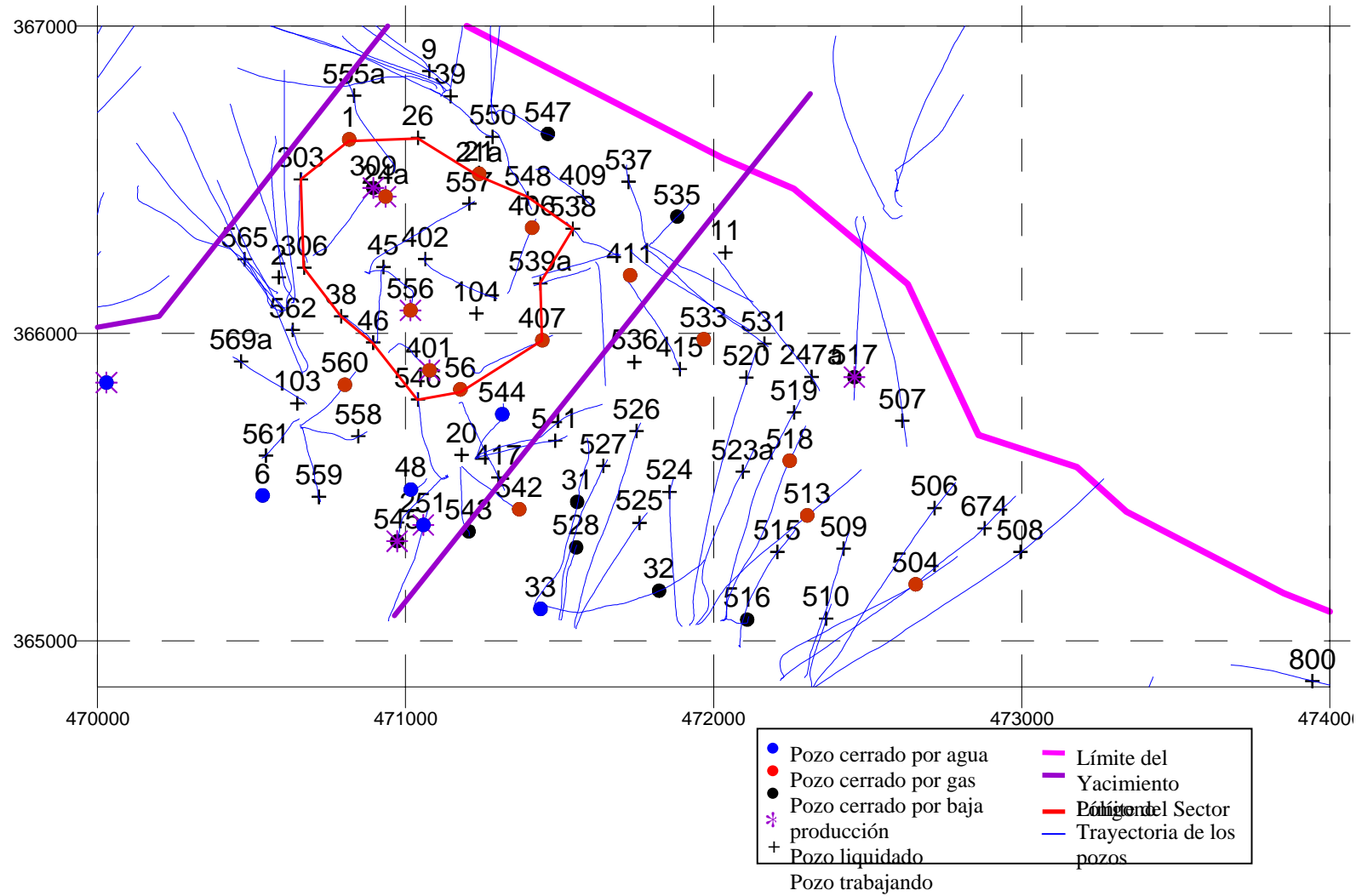
## BIBLIOGRAFIA

1. Lake, L.W.: *Enhanced Oil Recovery*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey (1989).
2. Brigham, William E. : "Fluid Flow in Various Patterns and Implications for EOR Pilot Flooding" *SPEERE* (june 2004) 170.
3. Cossé, René: *Basics of Reservoir Engineering*, EditionsTechnip, París (1993).
4. Bourdarot, Gilles: *Well Testing: Interpretation Methods*, EditionsTechnip, París (1996)



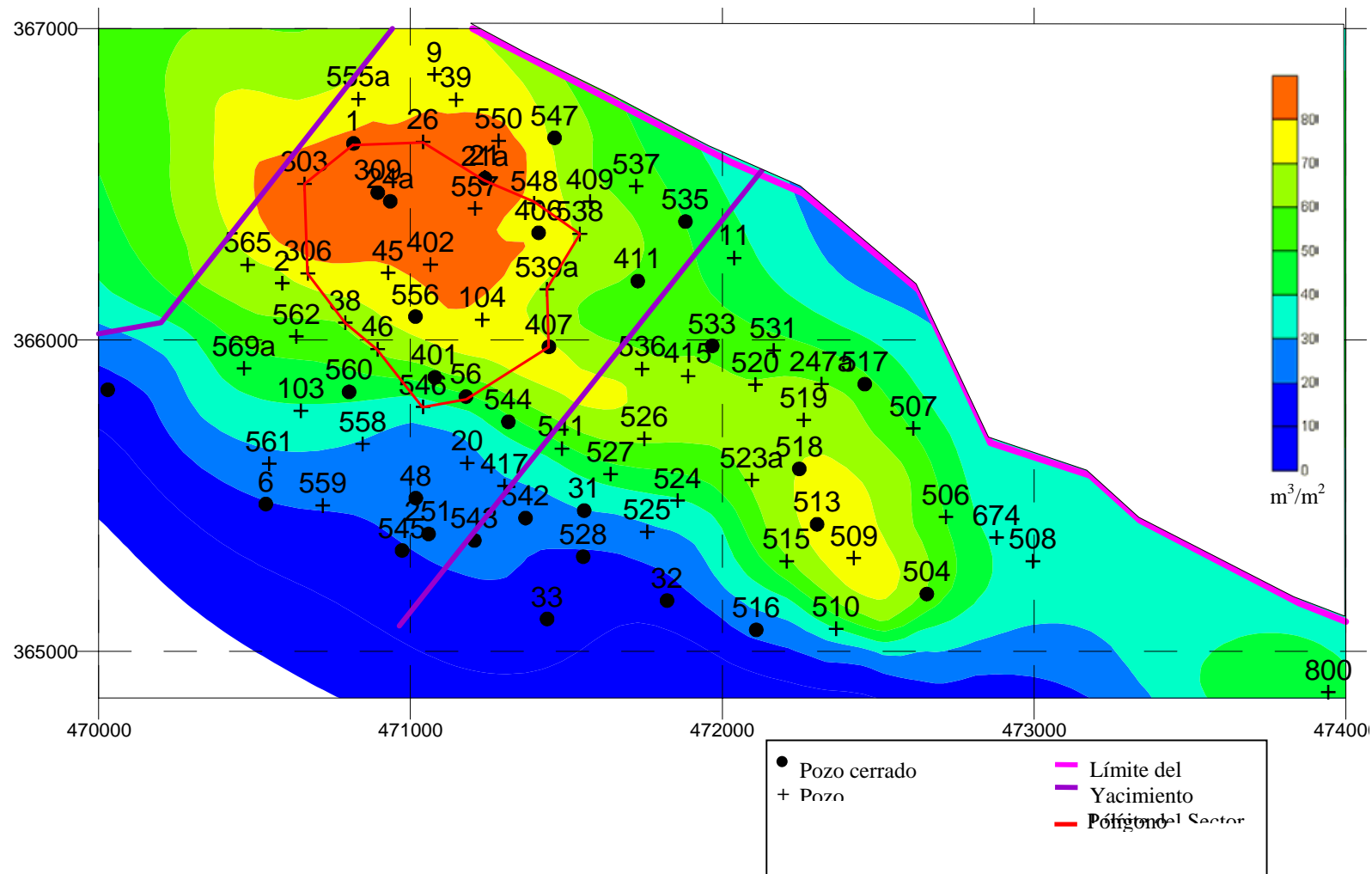
## ESTADO ACTUAL DEL FONDO DE POZOS

### Anexo 1



# RESERVAS DE PETRÓLEO

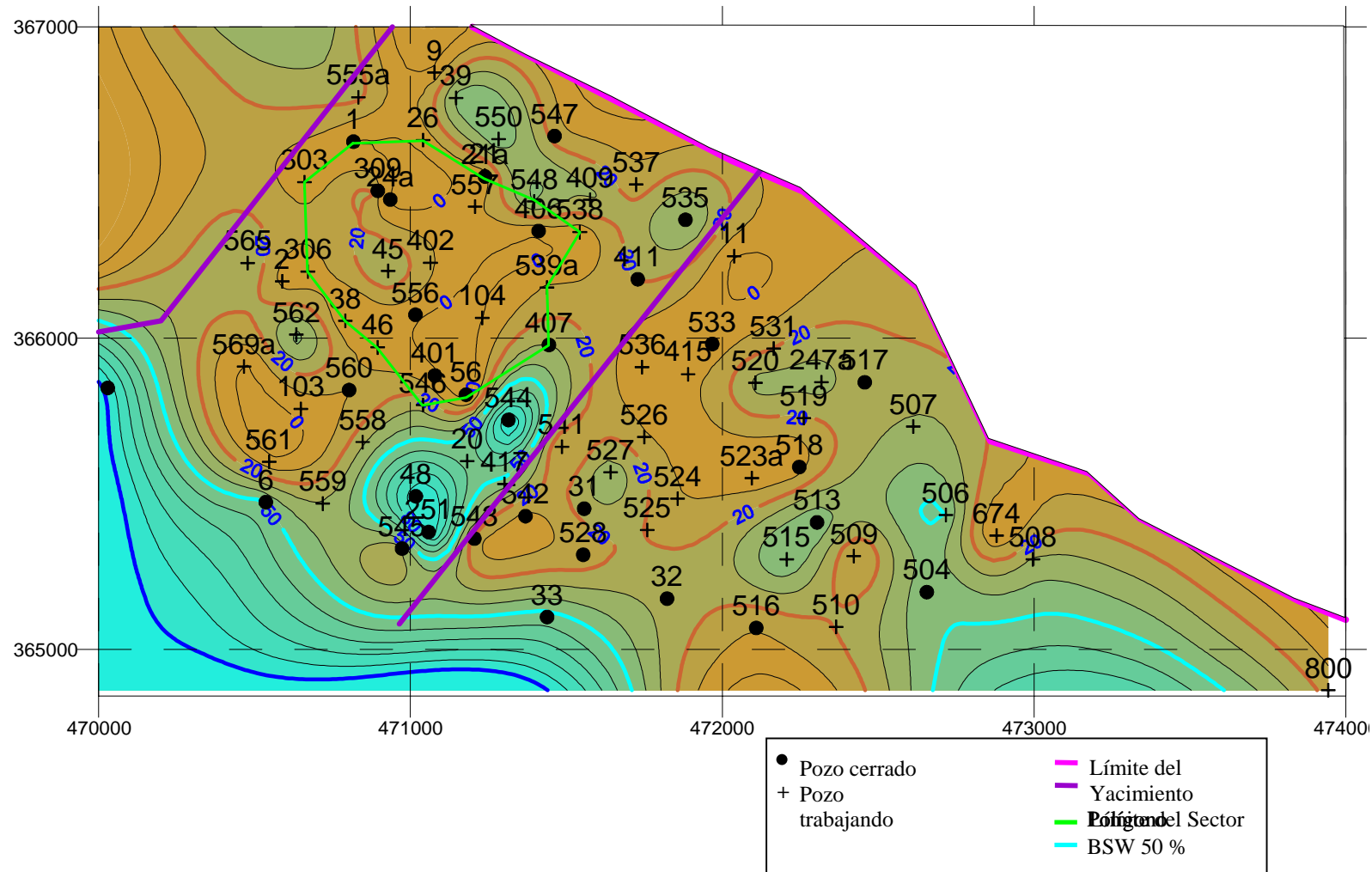
## Anexo 2



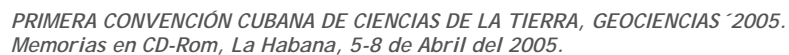


## % BSW

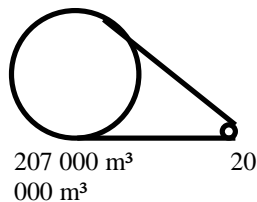
## Anexo 3



## Anexo 4



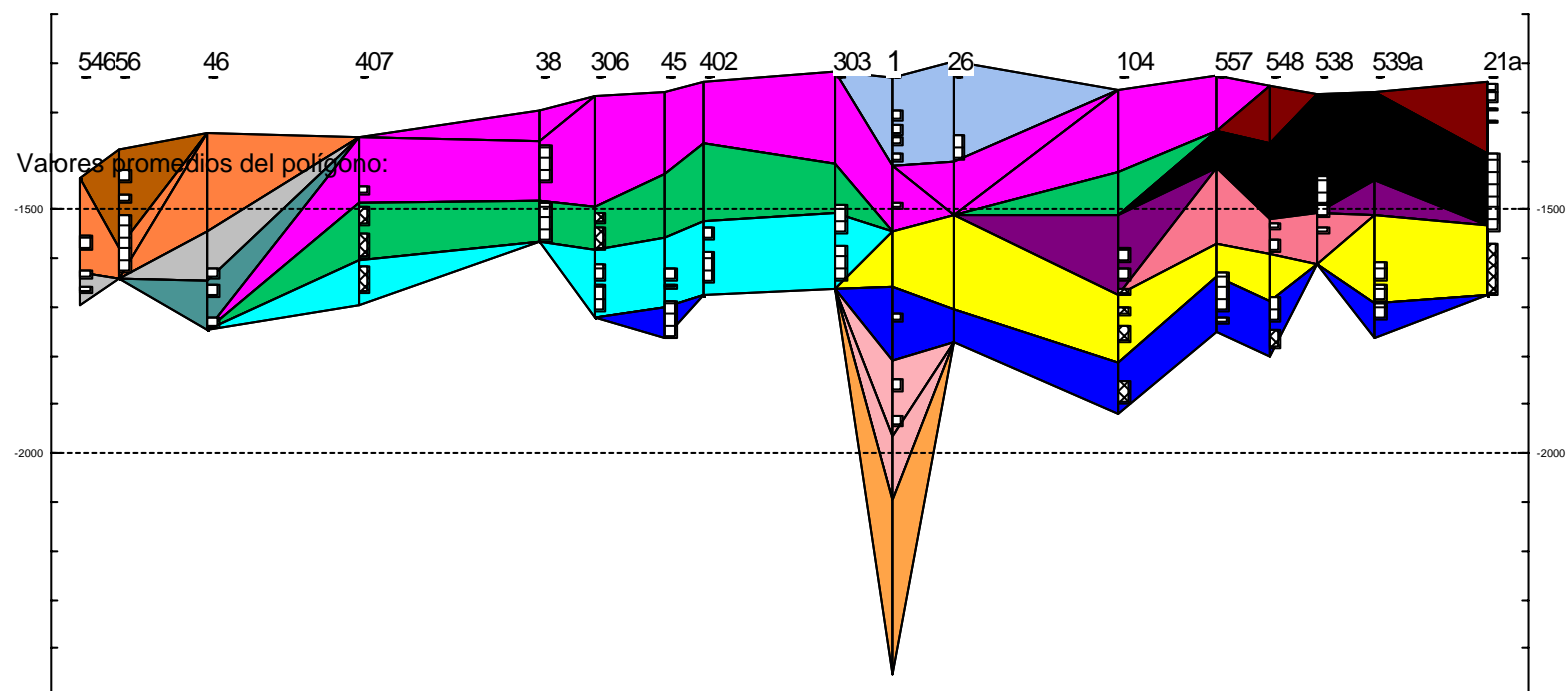
## Anexo 5





## CORRELACIÓN CON LOS POZOS DEL POLÍGONO

### Anexo 6



Valores promedios del polígono:

Porosidad %	Permeabilidad mD	RGP m³/m³	BSW %	Qf m³/d	Pcapa Atm
19	300	1500	5	10	105

	B1	B2	B31-32	Bn	Pg
V*	Red	Purple	Red	Pink	Orange
V1	Black	Magenta	Orange	Yellow	
V2	Purple	Green	Grey	Blue	
I1	Green	Cyan	Cyan	Pink	
V2, I					

Punzado abierto  
 Punzado abandonado

## USO DE GELES EN EL CONTROL DE AGUA Y GAS EN EL YACIMIENTO VARADERO

David Tabarez Noa(1), Lázara Luz Ramos Amador(2)

En la actualidad el Yacimiento Varadero es el campo con mayor volumen de recursos de petróleo y gas en situ, pero a su vez es el campo con más larga historia de explotación (más de 25 años) en nuestro país, sin embargo la recuperación prevista en base a su explotación en régimen natural no debe sobrepasar el 6%-7% de los recursos iniciales en situ. En este contexto, y unido al riesgo relativamente alto con potencial limitado de las áreas posibles de exploración, entonces el incremento en solo 3%-5% de la recuperación de las reservas sería equivalente prácticamente a producciones acumuladas del orden de las alcanzadas hasta la actualidad. La necesidad de lograr estos % de incrementos en la recuperación conllevaron al estudio sobre la aplicación de posibles tratamientos remediales para aquellos pozos en los que se limitaba su vida útil por inundación de agua ó incrementos de RGP. Teniendo como antecedente la aplicación de la tecnología de geles en otros yacimientos para control de agua, y alguna bibliografía sobre la aplicación para control de gas se hicieron las investigaciones necesarias a nivel de Laboratorio, se comenzó través de la participación de un Proyecto Internacional Multi-participativo con el PRI en Petroleum Recovery Institute Canadá y posteriormente se concretó y finalizó en el marco del Contrato de Colaboración PDVSA –CUPET, con el desarrollo de una formulación, específica para las condiciones de los yacimientos cubanos.

El objetivo de los trabajos desarrollados consiste en la generalización de la aplicación a nivel de campo del control de gas y/o agua, para mantener los pozos en producción, y asegurar el aprovechamiento racional de los agentes de desplazamiento el agua y el gas en el yacimiento.

En este trabajo se muestra una síntesis del desarrollo del análisis y aplicación del tratamiento a pozos del campo, mostrando a través de los resultados obtenidos la efectividad del tratamiento y por tanto la aplicabilidad del mismo con el objetivo de asegurar recuperar la producción, lo cual se traduce en incrementar los coeficientes de recuperación en nuestros campos. Se muestra además un breve análisis económico considerando los resultados reales en el tiempo de evaluación de los pozos tratados.

## **SOBRE EVALUACION AMBIENTAL ESTRATEGICA EAE EN LA ACTIVIDAD E&P PETROLERA.**

**Magdalena López Fernández (1)**

*(1) Oficina Nacional de Recursos Minerales. Avenida Salvador Allende No 666 entre Oquendo y Soledad Centro Habana. CP10300. E-mail magda@onrm.minbas.cu*

### **RESUMEN**

El proceso de evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) persiguen los mismos objetivos variando su ámbito de aplicación.

El proceso EIA que antecede a la EAE tiene como objetivo determinar los posibles efectos ambientales de un proyecto de inversión que se propone.

La EAE, por su parte, se define teóricamente como "la aplicación de los principios de EIA a políticas (ambientales y no ambientales), planes sectoriales y territoriales y programas de acción existentes y propuestos" en un ámbito de aplicación más general.

Definiendo un Programa de Desarrollo de la actividad industrial para el proceso EAE es posible aplicarlo a las actividades de exploración producción petrolera considerando la actuación de sus principales actores: los ejecutores de proyectos, las autoridades ambientales y responsables, y la comunidad enmarcados en un escenario más abarcador que la frontera de un simple proyecto.

### **ABSTRACT**

The process of Environmental Impact Assessment (EIA) and Strategic Environmental Assessment (SEA) persecutes such objective varying their scope of application.

The process EIA that it precedes to the SEA must like objective determine the possible environmental effects of an investment project that sets out.

The EAE, on the other hand, it is defined theoretically as "the application of the principles of EIA to policies (environmental and non environmental), sectorial and territorial plans and existing and proposed programs of action "in a scope of more general application.

Defining a Program of Development of the industrial activity for process SEA it is possible to apply it to the oil' exploration production-activities considering the performance of its main actors: the executors of projects, the environmental and responsible authorities, and the community framed in a scene more inclusive than the border of a simple project.

### **INTRODUCCIÓN**

El proceso de evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) persiguen los mismos objetivos variando su ámbito de aplicación.

El proceso EIA antecede a la EAE.

El objetivo de una EIA es determinar los posibles efectos ambientales (incluyendo efectos sobre la salud) y sociales de un proyecto de inversión que se propone.

La EAE, por su parte, se define teóricamente como "la aplicación de los principios de EIA a políticas (ambientales y no ambientales), planes sectoriales y territoriales y programas de acción existentes y propuestos" en un ámbito de aplicación más general.



En el proceso EIA el ejecutor propone alternativas ambientales para su proyecto y las autoridades aprueban dichas alternativas considerando las características del mismo aunque no se tiene en cuenta como factor fundamental la yuxtaposición y acumulación de efectos con otros que se desarrollan o puedan desarrollarse de forma mediata en el área o escenario de ejecución por otros actores.

Para desarrollar con efectividad la EAE:

- El ejecutor tiene que tener perfilados en su proyección la posible ejecución de proyectos a corto, mediano o largo plazo y la voluntad de desarrollar la EAE aunando criterios técnicos, estratégicos y ambientales.
- Las autoridades ambientales deben tener o convocar la información de otros posibles proyectos y sus efectos sobre el medio así como considerar la participación pública lo que exige transparencia aunque dicha transparencia puede interpretarse como una intromisión en la información reservada a altos niveles de decisión y/o una afectación a los intereses privados de posibles ejecutores.

La Evaluación de Impacto Ambiental:

- Realiza un enfoque individual del impacto: Generalmente la evaluación se realiza sobre un proyecto que contempla una obra determinada sin tener en cuenta los impactos acumulativos en el tiempo.
- Ofrece pocas alternativas al proyecto: El proceso EIA se produce en la fase final del proyecto por lo que no existe tiempo para plantear o introducir nuevas alternativas.
- Se orienta fundamentalmente a la eliminación o minimización del impacto de una forma reactiva y no proactiva.
- Mide la influencia del impacto social generalmente hacia los efectos sobre la salud y no sobre la calidad de vida y satisfacción de la población. La participación pública tiene lugar en momento concreto y para un proyecto determinado, sin que se prevea la posibilidad de incidir en la configuración y desarrollo de la política general.

Los principales problemas e insuficiencias que plantea el actual EIA a hecho que ya se plantee desde instancias gubernamentales o intergubernamentales la instauración de un sistema EAE.

El sistema político y de organización social en Cuba propicia un desarrollo efectivo de la evaluación ambiental estratégica a corto, mediano y largo plazo.

## **1. Definición de EAE.**

La Evaluación Ambiental Estratégica, EAE, “es el proceso sistemático de estudiar y anticipar las consecuencias ambientales de las iniciativas propuestas en los altos niveles de toma de decisión. Este proceso tiene como objeto incorporar el criterio ambiental desde el primer momento, como elemento de decisión en todos los sectores y grados de la planificación al mismo nivel que los criterios económicos y sociales” (1)

La EAE es un instrumento preventivo de impactos que involucra en un escenario determinado a:

- La autoridad ambiental y las autoridades responsables,
- El ejecutor de una actividad económica específica,
- la comunidad (conformada otras actividades económicas y sociales, residentes etc.)

La EAE toma en consideración el efecto que provoca sobre el medio a corto, mediano y largo plazo el desarrollo de los programas respectivos de las actividades económicas considerando la sinergia entre actividades según los planes de desarrollo de las mismas.

## 2. Características de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE).

En general, la EAE se ha desarrollado en el mundo en forma menos rápida que la EIA. Aunque su origen puede ser anterior en casos particulares, la definición de EAE se ha desarrollado a partir de los años noventa. Países líderes en su desarrollo han sido Nueva Zelanda, los Países Bajos, EE.UU., Alemania y otros países de la Unión Europea. En algunos casos se exigen EAE a planes de desarrollo sectoriales.

Diferentes factores han contribuido a la revisión sistemática de las consecuencias ambientales de las políticas de desarrollo:

- Toma de conciencia de las limitaciones del proceso EIA.
- Profusión del objetivo “desarrollo sostenible”.
- Incremento de la conciencia ambiental a nivel internacional.
- Interacción entre intereses económicos y el cuidado del medio ambiente.
- Activismo creciente de la opinión pública.

El desarrollo de la EAE implica necesariamente el desarrollo del proceso EIA.

La EAE supone un compromiso de colaboración entre el ejecutor del programa de desarrollo y la autoridad ambiental que se establece siguiendo los siguientes pasos:

1. Presentación a la autoridad ambiental de los sectores territoriales para el desarrollo de programas. Definición de los elementos básicos a ejecutar. Declaración de objetivos ambientales a cumplir.
2. Negociación con la autoridad ambiental de los objetivos anteriores. Establecimiento de requisitos.
3. Definición y formulación de acciones para el desarrollo de programas cumpliendo los requisitos establecidos.

Todos los pasos deben estar representados por pruebas documentales que recojan información imprescindible para la toma de decisiones siendo presentada ante la autoridad ambiental.

Es recomendable que se incluya dentro de la información el desarrollo histórico de la actividad en el escenario dado y la identificación de actores relevantes así como trabajar con suficiente información y transparencia.

La EAE no puede abarcar todos y cada uno de los problemas ambientales asociados a una actividad, sino centrarse en aquellos de mayor significación, priorizando los relacionados con la sensibilidad del escenario.

Es necesario que el ejecutor de programas:

- Defina una **Política**, en términos de objetivos a lograr.

- Establezca una **Estrategia** para implementar la Política considerando las restricciones que puedan afectar la posibilidad de lograr los objetivos definidos.
- Definir un **Programa** de cómo llevar a cabo la estrategia.

Es imprescindible que se considere:

- la relación entre las políticas y estrategias de uso del territorio con los problemas ambientales y las actividades económicas más importantes ya que estas influyen a corto mediano y largo plazo en el estado de la contaminación ambiental.
- El criterio de instituciones científicas respecto a la influencia en el medio ambiente del conjunto de proyectos a considerar en la EAE.
- la importancia económica de cada actividad.

### 3. Marco legal nacional del proceso EAE.

Aunque no existe de manera específica un marco legal en el país que establezca la necesidad de realizar evaluaciones ambientales estratégicas para el desarrollo e actividades económicas, la Ley 81 Del medio ambiente, ampara la realización de evaluación de impactos a los planes y políticas de diferentes actividades económicas sin que el proceso de evaluación requiera necesariamente del otorgamiento de una licencia ambiental (artículo 31) Dicha ley define además como una herramienta de protección ambiental el ordenamiento ambiental que tiene como objetivo “asegurar el desarrollo sostenible de un territorio sobre la base de considerar integralmente los aspectos ambientales y su vínculo con los factores económicos, demográficos y sociales” incluidos los requerimientos de la defensa nacional (artículo 21).

En 2003 derivado de la necesidad práctica de realizar el proceso EIA para la perforación de pozos, el CITMA a través de la Resolución 07/2004 del Centro de Inspección y Control Ambiental estableció la reducción del plazo para otorgar una licencia ambiental establecidos en la Resolución 77/99 CITMA Del proceso de evaluación de impacto ambiental, para la perforación de pozos a partir de una concepción de evaluación estratégica de la actividad siempre y cuando el operador presente a la autoridad ambiental las áreas perspectivas donde realizar la perforación . Una vez analizadas la sensibilidad ambiental del área, y la interrelación de las operaciones con otras actividades económicas, se le otorga una licencia ambiental general al operador con medidas complementarias de obligatorio cumplimiento. La licencia ambiental general concebida dentro del proceso EIA incluye ineludiblemente aspectos de evaluación ambiental estratégica aunque se limita a los efectos de un tipo de proyecto en un área específica.

Al no existir un marco legal que obligue a que las políticas, planes y programas sectoriales sean sometidos a un proceso de evaluación ambiental estratégica su instauración en el país es voluntaria. Tampoco existen criterios que “que orienten a los órganos de la administración del Estado respecto cómo aplicar la EAE a sus respectivas políticas, planes y programas.”



#### 4. Propuesta de Programa de Desarrollo de la actividad industrial para el proceso de EAE.

Datos generales del programa.

- I. Caracterización de la industria.
- II. Definición de la política.
- III. Sobre el programa de desarrollo.
  - III.1. Justificación del desarrollo de la actividad industrial en el escenario.
  - III.2. Definición de la necesidad de la Evaluación Ambiental Estratégica.
  - III.3. Descripción del programa.
    - III.3.1. Proyectos específicos de acuerdo al tipo de industria.
      - III.3.1.1. Caracterización de proyectos
        - III.3.1.1.1. Alcance, administración y operación del programa.
        - III.3.1.1.2. Área(s) a utilizar
        - III.3.1.1.3. Descripción de actividades y procesos tecnológicos.
        - III.3.1.1.4. Áreas inducidas. Almacenes. Disposición de desechos etc.
        - III.3.1.1.5. Requerimientos de portadores energéticos y recursos naturales.
        - III.3.1.1.6. Identificación en el desarrollo de proyectos de
          - III.3.1.1.6.1. productos químicos tóxicos de posible utilización.
          - III.3.1.1.6.2. de desechos, desechos peligrosos de posible generación.
    - III.4. Descripción general del medio físico y socioambiental del área de influencia del programa.
      - III.4.1. Breve descripción del medio físico.
        - III.4.1.1. De la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Existencia real o potencial de fuentes de abasto.
        - III.4.1.2. De la clasificación y uso de los suelos.
        - III.4.1.3. De la calidad del aire.
        - III.4.1.4. De la sensibilidad ambiental del medio. Existencia de áreas protegidas.
      - III.4.2. Actividades antrópicas que se desarrollan. Actores públicos y privados involucrados.
        - III.4.2.1. Desarrollo económico industrial y agrícola.
        - III.4.2.2. Existencia de asentamientos humanos bajo la influencia del programa.
    - III.5. Prioridades de medio ambiente consideradas en el programa.
    - III.6. Relación del programa con otros programas estatales en el territorio.
  - IV. Normativa jurídica y técnica con implicaciones ambientales aplicable a los proyectos del programa.
  - V. Identificación de impactos.
    - V.1. Identificación de impactos ambientales potenciales más comunes según tipo de proyecto.

Impactos socioambientales y económicos.

      - V.1.1. Alteración de la calidad del aire por emisiones.
      - V.1.2. Alteración de la calidad de las aguas superficiales o subterráneas o el suelo por manipulación de productos o disposición de desechos.
      - V.1.3. Alteración del medio por ruidos.
    - V.2. Medidas de manejo ambiental para cada tipo de impacto de los proyectos del programa.
      - V.2.1. Medidas de prevención.
      - V.2.2. Medidas de eliminación.
      - V.2.3. Medidas de mitigación.
      - V.2.4. Medidas de compensación
      - V.2.5. Medidas de prevención de riesgos
      - V.2.6. Medidas de control de accidentes.
      - V.2.7. Medidas de control y vigilancia. (monitoreo ambiental).
    - V.3. Identificación de las organizaciones estatales encargadas de verificar el cumplimiento de las medidas.
  - VI. Sugerencias de mejoramiento de la incorporación de las dimensiones ambiental y social de proyectos.
    - VI.1. Propuesta de estrategia participativa.
    - VI.2. Propuesta de fortalecimiento institucional y capacitación.
  - VII. Identificación de mecanismos de seguimiento de la EAE.

Anexos

Referencias

## 5. Aplicación del Programa de Desarrollo de la actividad industrial.

### I. Caracterización de la industria.

Se caracteriza la industria exponiéndose el alcance de la actividad industrial.

E&P:

Se define como exploración-producción a la parte de la industria petrolera que se dedica a la búsqueda y explotación de los reservorios de hidrocarburos líquidos y gaseosos hasta la comercialización de dichos productos para su utilización.

### II. Definición de la política.

Se hace referencia a la política de desarrollo de la actividad en el marco nacional, el marco legal que la ampara y la significación económico-social a gran escala de los planes de desarrollo dentro del contexto (local, nacional, etc.).

En estos momentos el desarrollo de la política de las actividades de exploración-producción petrolera E&P en Cuba tiene actualmente un marco legal desactualizado en la Ley 38, Ley de Minerales Combustibles, aprobada el 9 de mayo de 1938 y su Reglamento.

Se encuentra actualmente en reelaboración después de consultas el "Proyecto Decreto Ley de la Exploración y Explotación de Petróleo y el Gas Natural" en el cual se establece la política de exploración y explotación de petróleo y gas en el país.

E&P:

La política de exploración y explotación de petróleo y gas contempla, entre otras, las materias siguientes:

- a) la promoción de la investigación petrolera en el país.
- b) la selección de las áreas para la exploración y la explotación de petróleo y gas.
- c) la administración de los recursos y reservas de petróleo y gas ,
- d) explotación racional y aprovechamiento óptimo del petróleo y el gas ,
- e) el desarrollo de depósitos de petróleo y de gas, oleoductos, gasoductos, terminales portuarias y otras redes de transportación interna.
- f) la promoción de importación de suministros especializados para la producción de petróleo y gas y las tecnologías de avanzada.
- g) la colaboración nacional e internacional en la esfera del petróleo y el gas,
- h) el desarrollo armónico de la actividad garantizando la preservación de la salud, la seguridad y el medio ambiente.
- i) la formación y desarrollo de los recursos humanos.

Proyecto Decreto Ley *De la Exploración y Explotación de Petróleo y el Gas Natural*/01/04 (1)

Dicha política debe ser aprobada por el Consejo de Ministros a propuesta del Ministerio de la Industria Básica.

La industria petrolera se declara en el proyecto de Decreto Ley de utilidad pública e interés social, lo que implica que la actividad petrolera gozará de preferencia sobre



cualquier otro uso o aprovechamiento del terreno, siempre que razones económicas o sociales lo hagan recomendable.

En el marco de la política nacional para la exploración y explotación de petróleo y gas desarrollan sus actividades las empresas nacionales y las asociaciones cubano extranjeras que realizan actividades E&P.

### III. Sobre el programa de desarrollo de la industria.

#### III.1. Justificación del desarrollo de la actividad en el escenario.

Se expone brevemente:

- Como se ha desarrollado históricamente la actividad en el escenario,
- La relación de proyectos anteriores que justifican el desarrollo o la ampliación la actividad en el mismo.
- La justificación, aunque no se tengan antecedentes, del programa de desarrollo.

#### E&P: Desarrollo histórico.

Relacionadas con esta industria se han desarrollado en Cuba actividades desde finales del siglo XIX (1881) al iniciarse las actividades de perforación en la Región Central.

Hasta la actualidad se han perforado más de 2000 pozos en todo el territorio nacional.

Se han descubierto más de 20 yacimientos de petróleo, la generalidad de pequeñas dimensiones ubicados en la región central y el occidente del país.

Actualmente se desarrolla la actividad E&P en la Costa Norte de Crudos Pesados de donde se extraen alrededor de 75 mil barriles por día alcanzándose más de 4MM de toneladas de petróleo equivalente que suma la equivalencia energética del gas producido aprovechado en actividades económicas, a los volúmenes de crudo producido (1200 m3 de gas equivalen a 1 tonelada de petróleo).

Las principales áreas de posible desarrollo se concentran también en la FNCP Habana Matanzas donde se han localizado prospectos de interés incluso en zonas exteriores a las aguas territoriales correspondiente a la Zona Económica Exclusiva Golfo de México ZEE GOM.

Los principales yacimientos en explotación son Varadero, Yumurí, Canasí Puerto Escondido que cuentan con infraestructura de superficie para la explotación.

Los principales volúmenes de hidrocarburos producidos se caracterizan por tener alta densidad (0.98 g/cm3; 32 API) y contenido de azufre (8-12%).

#### Fases de la E&P. Proyectos E&P

La industria petrolera E&P comprende las fases de exploración, y desarrollo y explotación:

La fase de **exploración** tiene como objetivo descubrir y evaluar un yacimiento de petróleo y gas en el subsuelo.

La fase de **explotación**: Tiene como objetivo extraer y comercializar los hidrocarburos de un yacimiento de petróleo y gas.

Ambas fases se desarrollan una a continuación de la otra aunque dentro de la fase de explotación pueden realizarse proyectos exploratorios de objetivos específicos atendiendo a la conformación del conocimiento geológico.

La práctica en Cuba ha sido la ejecución de las fases E&P sin definir exactamente la conclusión de la exploración.

Las resoluciones 06-07/04 ONRM definen claramente las mismas estableciendo como hito entre ambas la declaratoria de comercialidad por parte del operador del yacimiento

descubierto el cual debe ser desarrollado a partir de un plan (Plan de desarrollo) para todo el tiempo de vida útil del descubrimiento que se adecua a las características geológicas del mismo

### **III.2. Definición de la necesidad de la Evaluación Ambiental Estratégica.**

Se argumenta la necesidad de hacer la EAE para una actividad económica considerando su desarrollo perspectivo.

E&P:

La justificación de programas de desarrollo de la actividad E&P se basa generalmente en la identificación de estructuras reveladas en la etapa de exploración. Las características de estas estructuras determinan la existencia de volúmenes determinados de recursos, que se transformarán en reservas probables y probadas en la medida de que aumente el conocimiento geológico de dichas estructuras.

La importancia de los hidrocarburos como recurso energético es determinante para un país en desarrollo sin abundantes y rentables recursos energéticos, y sin fácil acceso a tecnologías.

### **III.3. Descripción del programa.**

Se describe brevemente el programa de desarrollo propuesto.

Se entiende como programa de desarrollo al conjunto de proyectos específicos que tienen por objeto desarrollar una actividad económica.

E&P:

Pueden desarrollarse distintos proyectos de acuerdo a las fases de la E&P:

- Exploración de superficie. Comprende la ejecución de proyectos de exploración por métodos geofísicos y geológicos sísmica, gravimetría, magnetometría, etc. Como acciones complementarias temporales incluye la construcción o instalación de campamentos, la apertura de vías de acceso a las áreas de investigación.
- Perforación de pozos exploratorios y de evaluación.
- Perforación de pozos de explotación (desarrollo).
- Construcción de obras inducidas temporales o permanentes:
  - campamentos para el personal,
  - tanques de almacenamiento de crudo,
  - tanques de almacenamiento de combustible,
  - centros temporales de separación,
  - antorchas para la quema de gas,
  - pozos para la disposición de agua producida,
  - pozos de infiltración de residuales humanos,
  - vertederos de sacrificio para la disposición de desechos,
  - fosos temporales para la quema de material combustible.
- Construcción de facilidades de superficie para su almacenamiento, tratamiento y traslado para la venta de hidrocarburos producidos.
  - Ductos de crudo, gas, agua producida,
  - Centros colectores y de medición,
  - Plantas de tratamiento de crudos,
  - Plantas de tratamiento de residuales.

III.3.1. Proyectos específicos de acuerdo al tipo de industria.  
Se relacionan los tipos de proyectos a desarrollar.

III.3.1.1. Caracterización de proyectos.

III.3.1.1.1. Alcance, administración y operación del proyecto.

Se declara el inversionista del proyecto, su ejecutor y el operador de las instalaciones una vez concluido el mismo.

Se puede complementar esta información con una breve descripción anexa de la experiencia desarrollada por las entidades participantes.

En la actividad petrolera el inversionista puede ser la empresa o contratista del área petrolera aunque la ejecución y la operación de proyectos pueden realizarse mediante servicios de terceros.

III.3.1.1.2. Área(s) a utilizar

Se relacionan las coordenadas planas o geográficas de las áreas a utilizar para el desarrollo del proyecto delimitando su ubicación por provincia, municipio.

III.3.1.1.3. Descripción de los procesos tecnológicos.

Se describen brevemente los procesos tecnológicos que se desarrollarán en los proyectos.

III.3.1.1.4. Áreas inducidas. Almacenes. Disposición de desechos etc.

Se relacionan las obras complementarias temporales o permanentes necesarias de acuerdo al tipo de proyecto.

III.3.1.1.5. Requerimientos de portadores energéticos y recursos naturales.

Se declaran las necesidades de energía eléctrica, combustibles, agua potable, agua industrial, recursos minerales, etc. para el desarrollo del proyecto así como sus posibles fuentes y la autorización para su uso.

III.3.1.1.6. Identificación en el desarrollo de proyectos de:

III.3.1.1.6.1. productos químicos tóxicos de posible utilización.

III.3.1.1.6.2. desechos, incluyendo desechos peligrosos, de posible generación directa o mezcla de productos.

III.4. Descripción del medio físico y socioambiental del área de influencia del programa.

III.4.1. Se presentará una descripción del medio físico, su calidad y su posible afectación por el desarrollo del programa de acuerdo a la carga contaminante derivada del mismo.

III.4.2. Actividades antrópicas que se desarrollan. Actores públicos y privados involucrados.

Se consideran todos los actores con intereses en el escenario de desarrollo del programa y la implicación que pudiera tener el desarrollo del mismo.

III.5. Prioridades de medio ambiente consideradas en el programa.

El programa de desarrollo debe considerar la sensibilidad ambiental del escenario y los principales problemas ambientales potenciales y/o reales existentes. Ej. Calidad del aire y la influencia de su alteración en medios urbanos, o agrícolas, existencia de fuentes de abasto superficiales o subterráneas, existencia de áreas protegidas, cercanía e interacción con el medio marino.

III.6. Relación del programa con otros programas (estatales o privados en el territorio)

Se debe considerar la existencia de otros planes industriales agrícolas y sociales que se desarrollen o tengan potencialidad de desarrollo en el territorio.

IV. Normativa jurídica y técnica con implicaciones ambientales aplicable a los proyectos del programa.

Se debe considerar la normativa jurídica y técnica que rige el desarrollo de la actividad haciendo énfasis en las específicas. Un escenario determinado puede exigir la consideración de una norma para una actividad que necesariamente no se considera para otro. Ej. El desarrollo de programas en las cercanías de zonas costeras obliga a la consideración del Decreto Ley 212.

Normativa específica para las actividades E&P:

1. RA-01/95 Manejo de residuales durante la perforación de pozos de petróleo en tierra (onshore)
2. RA-02/95 Tratamiento y disposición de agua producida.
3. RA-03/95 Construcción de piscinas de perforación.
4. RA-04/95 Presentación y aprobación de los Planes de Contingencias y alcance del Plan de Contingencia para Pozos onshore.
5. RA-05/95 Presentación y aprobación de los Planes de Contingencia para Terminales y depósitos.
6. RA-06/95 Alcance del Plan de Manejo de Residuales para Pozos onshore.
7. RA-07/96 Restauración Ambiental de los sitios de perforación.
8. RA-08/99 Manejo de Fondaje de Tanques de Almacenamiento de petróleo y sus derivados.
9. RA-09/99 Calidad del aire para los sitios de perforación de los pozos petroleros en tierra (onshore).
10. RA-10/99 Gestión de Residuos.
11. RA-11/01 Aspectos fundamentales para la protección de la contaminación debida a los tanques de almacenamiento de petróleo.
12. RA-12/01 Requisitos ambientales para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de oleoductos y gasoductos en tierra.
13. Res 114-2003 MIB Procedimiento para la calificación de compañías extranjeras interesadas en la E&P de hidrocarburos en la República de Cuba.
14. Res 115-2003 MIB Reglamento para la Protección Ambiental en la Actividad Petrolera de Exploración-Producción.
15. Res 117-2003 MIB Reglamento para el cierre definitivo de los pozos que se abandonan, el cierre temporal de los que pasan a conservación y los pozos que se liquidan. Gaceta Oficial Ordinaria No 31 04/08/03 Pag. 481-483
16. Res 06-2004 ONRM Reglamento y procedimiento para las actividades de explotación de petróleo y gas.
17. Res 07-2004 ONRM Reglamento y procedimiento general para las actividades de exploración de petróleo y gas No publicada en Gaceta

V. Identificación de impactos.

- V.1. Identificación de impactos ambientales potenciales más comunes según tipo de proyecto. Impactos socioambientales y económicos.
- V.2. Medidas de manejo ambiental para cada tipo de impacto de los proyectos del programa.

Los impactos ambientales y las medidas para su prevención, mitigación compensación y otras, se describen de forma semejante a lo que se establece el proceso EIA y dependerán del tipo de proyectos y la tecnología que se emplee.

V.3. Identificación de las organizaciones estatales encargadas de verificar el cumplimiento de las medidas.

La verificación de las medidas propuestas es de la competencia de la autoridad ambiental pero de acuerdo a la esfera económica del programa, a las características del escenario y a la responsabilidad que la ley delimita sobre los recursos naturales pueden estar implicados organismos y entidades que los representan, las que deben ser identificadas.

VI. Sugerencias de mejoramiento de la incorporación de las dimensiones ambiental y social de proyectos.

Se propondrán las acciones de gestión que propiciarán el intercambio con la comunidad circundante en el escenario del programa para monitorear los efectos del mismo y las acciones de capacitación propuestas dentro de la organización que desarrollará el programa para su implementación y desarrollo.

VII. Identificación de mecanismos de seguimiento de la EAE.

La implantación de la EAE relacionada con un programa de desarrollo no es estática. Puede variar de la etapa de planificación a la etapa de implantación modificando la forma en que se cumplan los objetivos ambientales. El ejecutor del programa propondrá la forma de re-verificación ante la autoridad ambiental incluyendo las etapas del programa en las cuales puede realizarse una revisión general del cumplimiento de los requisitos que se establezcan en el proceso EAE.

Una vez presentado el **diseño** del Programa de Desarrollo ante la autoridad ambiental, ésta podrá evaluarlo, oído el criterio de autoridades responsables, instituciones científicas y la comunidad a través de la consulta u otros mecanismos que considere, y establecer modificaciones al mismo y los requisitos ambientales que resulten necesarios concluyendo con el **diagnóstico** sobre la EAE. El ejecutor del programa propuesto implementará el programa propuesto manteniendo el **seguimiento y monitoreo** del mismo.

## CONCLUSIONES

1. La Evaluación Ambiental Estratégica EAE complementa sin sustituir al proceso Evaluación de Impacto Ambiental EIA.
2. Constituye una herramienta ambiental para la planificación territorial de forma sostenible.
3. Exige:
  - La voluntad de aplicarla y el compromiso del comportamiento ambiental de decisores y ejecutores de los programas de desarrollo.
  - La participación cooperada de la comunidad, representada por ejecutores de actividades económicas y la comunidad social.
  - El intercambio de información con transparencia.
  - La convocatoria por parte de las autoridades ambientales de otras autoridades responsables y de instituciones científicas para evaluar el programa de desarrollo.
4. La EAE diseñada, implementada y monitoreada correctamente ayuda a alcanzar el desarrollo sostenible de un territorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Sadler, B. and Verheem (1996) Strategic Environmental Assessment - Status, Challenges and Future Directions. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment of The Netherlands, The Hague, The Netherlands.
- (2) Proyecto Decreto Ley de la Exploración y Explotación de Petróleo y el Gas Natural/2003
- (3) Subdepartamento de Evaluación de Impacto Ambiental (2001) Guía para la aplicación de la evaluación ambiental estratégica/COMANA, Chile
- (4) Directiva 2001/42CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la evaluación de determinados planes y programas en el Medio Ambiente





## CARACTERIZACIÓN DE LAS FORMACIONES OLISTOSTRÓMICAS DE CUBA OCCIDENTAL Y CENTRAL: FORMACIONES MANACAS Y VEGA ALTA

**Yanet Rosell Armenteros<sup>(1)</sup>, Evelio Linares Cala<sup>(1)</sup>.**

*(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington 169 esquina a Churruca Cerro.  
[yrosell@ceinpet.cupet.cu](mailto:yrosell@ceinpet.cupet.cu)*

### RESUMEN

La Formación Manacas se encuentra aflorando en las Sierras del Rosario y Los Órganos ambas en la provincia de Pinar de Río. Para ampliar su estudio, se realizaron trabajos de campo y revisiones de pesquisas anteriores en las cuales podemos encontrar aspectos relacionados con la formación en cuestión y concluir que esta formación constituye una secuencia con favorables características como roca sello. Adicionalmente, los resultados existentes de las investigaciones realizadas, permiten hacer un análisis comparativo con la formación Vega Alta, sello por excelencia de los yacimientos del norte de las provincias La Habana y Matanzas. Ambas formaciones, fueron depositadas en condiciones similares y en cuencas de un mismo tipo; constituyen además la cubierta orogénica de las rocas del Margen Continental, en las que se encuentran ubicados los yacimientos de petróleo de la parte occidental del país (Varadero, Boca de Jaruco, P. Escondido, Yumurí, entre otros). Los sedimentos siliciclásticos y olistostrómicos de la Fm Vega Alta, se han detectado en todos los pozos profundos desde Guanabo hasta el yacimiento Yumurí. Por lo general, en la formación se distingue una parte inferior siliciclástica y carbonatada que es la más desarrollada, compuesta por alternaciones de calizas arcillosas, calizas organógenas, calcarenitas, margas, limolitas y arcillas de edad Paleoceno Medio y Superior y una parte superior de edad Eoceno formada por un conjunto olistostrómico, con olistolitos de diferentes tamaños, de calizas prepaleogénicas, así como fragmentos de rocas del Arco Volcánico Cretácico.

### ABSTRACT

Manacas Formation outcrops in el Rosario and Los Órganos ranges, both located in the Pinar del Rio Province. This formation has very favorable characteristics as seal rock. To study it deeper, many field trips and revision of previous studies were made, which show us important aspects related with this formation. The results of the researches let us make a comparative analysis between the formation subject of this work and Vega Alta Formation, seal of the main North Havana- Matanzas oil field reservoirs. Both formations were settle in same conditions in very similar basins, and they both also constitute the synorogenic sediments related to the thrust belt of the Continental margin rocks, whic are the known source rocks and reservoirs of the oil fields of the Occidental part of the country (Varadero, Boca de Jaruco, P. Escondido, and Yumurí among others).

The siliciclastics and olistostromics sediments of Vega Alta Formation have been detected in all the deep wells from Guanabo to Yumuri. We can find a lower siliclastic and carbonated section, which is the ticker one, where clayey limestone, organogenics limestone, calcarenites, marlstones, siltstone, and claystones from the Middle and Upper Paleocene are found, and a upper section which is mainly olistostromic sediments with olistolits of diverse sizes, of prepaleogenics limestones and pieces from Cretacic Volcanic Arc of Eocene age.

Due to the need of expanding our horizons in oil exploration, it will be very important reconsidering the situation in the easternmost part of the country. That's why now it is necessary to start doing some surveys and comparatives works as it is shown in the Dr.Sci. work of one of the authors of this papers. That been the case we dealt with one of the most sensible points to determine possible petroleum systems in this area: seal rocks.

## INTRODUCCIÓN

Dada la necesidad de descubrir nuevas áreas perspectivas para la búsqueda y explotación del petróleo, se hace necesario un replanteamiento de la situación de la parte más occidental del país. Hasta hace poco tiempo la presencia de sellos en el Occidente de Cuba se consideraba como un aspecto de riesgos a la hora de evaluar los Sistemas Petroleros. Sin embargo, hay evidencias que indican que tales sellos existen en tanto los pozos petroleros del Yacimiento Martín Mesa han producido petróleo y gas y algunos tanteos recientes están indicando también la presencia de gas y petróleo en la franja norte marina del área de Mariel. Es por esto, que se consideró necesario, comenzar a hacer distintos estudios investigativos y de comparación, como lo demostró la tesis doctoral de uno de los autores del presente trabajo. En este caso, se trata de uno de los temas más sensibles para la determinación de posibles sistemas petroleros en esta área: la roca sello.

Los resultados obtenidos tanto en pozos como en afloramientos de la formación Manacas, testimonian a favor de nuestras consideraciones y además, son la base de las presentes y posteriores investigaciones que se realizarán.

La presente investigación es resultado de las pesquisas realizadas por los autores, a fin de caracterizar la formación Manacas y poder establecer una comparación con formaciones similares, como lo es el caso de la formación Vega Alta, que aflora en Cuba Central y es detectada en el subsuelo de los yacimientos petroleros del norte de las provincias de la Habana y Matanzas (Valladares y otros, 1997 y 1998).

El estudio de la formación Manacas en la región occidental del país, específicamente en la mitad norte de la provincia Pinar de Río, reviste gran importancia para la búsqueda y prospección de yacimientos petrolíferos en esta región del país.

La formación Manacas es, a nuestro parecer, la formación que mayores posibilidades tiene como secuencia sellante en esta zona. Dicha unidad litoestratigráfica del orogénico resulta cobertura de las rocas del margen continental y en ella se describen importantes capas de arcillas y rocas arcillosas. Tal ejemplo ha sido observado por los autores en la Zona de Rangel en Pinar del Río (Foto 1).

Con el objetivo de profundizar en el conocimiento de esta unidad litoestratigráfica, se han venido desarrollando una serie de pesquisas de campo e investigaciones de pozos petroleros por parte de los autores en los últimos años.

Todavía no se han encontrado en la provincia de Pinar de Río yacimientos de petróleo, sin embargo, han sido estudiadas y localizadas varias emanaciones superficiales de petróleo, que se consideran un fiel indicio de la existencia de petróleo en el subsuelo así como también varios pozos petroleros han mostrado hidrocarburos. Esto evidencia surtidores activos. Tales casos se reportan en Rangel, Playa Las Canas y El Burén entre otros.

La región en la que estamos trabajando es una de las más cercanas a la Zona Económica Exclusiva de Cuba en el Golfo de Méjico. Mientras más se amplíe en el estudio de las formaciones que conforman los sistemas petroleros en tierra en esta región, mayores posibilidades tendremos de hacer correlaciones útiles para la exploración sísmica en el Golfo de Méjico.

## TRABAJOS DE CAMPO REALIZADOS PARA EL ESTUDIO DE LA FORMACIÓN MANACAS

Se realizaron varios trabajos de campo, en los cuales se analizaron afloramientos de dicha formación. Las exposiciones se encuentran ubicadas en los poblados Rangel, El Brujo y Los Tumbos (Fig. 2). Todas estas localidades se encuentran en la provincia de Pinar del Río.

Durante las observaciones realizadas en el terreno, se pudo corroborar que la formación Manacas, es un olistostroma policomponente, presenta una matriz muy arcillosa, en la cual se encuentran inmersos fragmentos de rocas de diversas litologías, correspondientes a formaciones pre-paleogénicas y además grandes bloques de ofiolitas. El tener una matriz arcillosa y además ser una formación cobertura de las rocas del Margen Continental, - tectónicamente ubicada en los frentes de sobrecorrimientos y que además las rocas del Margen Continental son en las cuales se encuentran los reservorios de la parte noroccidental del país-, permite valorar las posibilidades de esta formación como roca sello.

Se tomaron diversas muestras, tanto de la matriz como de los olistolitos que la componen, con el objetivo de datarla y además analizar sus características petrográficas, para de esta manera a partir de los resultados que se obtengan verificar el grado de veracidad de la hipótesis planteada por los autores en esta investigación.

## **RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS PALEONTOLÓGICOS Y PETROGRÁFICOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS TOMADAS DURANTE LOS TRABAJOS DE CAMPO**

Según los resultados obtenidos de los análisis petrográficos y paleontológicos se obtuvo:

Petrográficamente en las muestras YTR (01, 02, 05, 07, 09 y 21) se determinaron: Packstone de vitroclastos y bioclastos con fracción limoso – arenosa fina de cuarzo; arenita volcánica (fragmentos efusivos alterados); andesita con textura porfídica y matriz casi totalmente carbonatizada; pedernal calcedónico radiolárico.

Estas muestras fueron en el área de Rangel (Foto 1) dentro de la matriz arcillosa.

En la Zona El Brujo, en las muestras EL (16-02, 15-02, 19-1-02, 20-02, 20-1-02, 15-3-02, 15-1-02, 15-4-02) se describen: Serpentinitas harzburgíticas, anfíbolitas epidóticas granatíferas, con minerales como hornblenda, plagioclasa ácida y actinolita; gabro – diabasa piroxénica; diabasa piroxénica; mudstone calcáreo, con bioclastos del Jurásico Superior al Neocomiano; litocuarzoarenita de grano fino a medio; de edad Paleógeno; Packstone – grainstone de bioclastos peloides de edad Paleógeno.

En las muestras de Yanet Rosell tomadas en Los Tumbos YR (82-02, 86-02, 85-02, 83-02, 84-02, 81-02, 67-02, 80-02, 78-02, 71-02, 63-02 y 68-02) se determinaron:

Wackestones con abundantes bioclastos de edad Albiano; areniscas arcósicas; basalto tipo espilita, pedernal brechado con abundantes radiolarios; packstones con bioclastos de edad Campaniano Superior – Maestrichtiano; anfíbolita epidótica; grainstone con abundante bioclastos de edad Maestrichtiano.

En la misma localidad en otro grupo de muestras se distinguen: gabro intensamente silicificado; pedernales radioláricos, Wackestones con edad Campaniano – Maestrichtiano; gabro y gabro – diabasas; Floatstones – Rudstone con bioclastos de edad Maestrichtiano; Packstone – grainstone del Turoniano – Maestrichtiano.

Si se observan los trabajos de Silvia Valladares y colectivo de autores (Valladares, S. y otros, 1997 y 1998) y de E. Linares (Linares, E., 2004), al tratar las rocas de la Fm. Vega Alta en los yacimientos Petroleros de la Faja Norte de Crudos Pesados (FNCP), se describen similares olistolitos que los reseñados anteriormente para la Fm. Manacas en la Sierra del Rosario y Los Organos en Pinar del Río: distintos tipos de rocas carbonatadas de edades desde el Cretácico Inferior hasta el Maestrichtiano, pedernales radioláricos, probablemente procedentes de la destrucción de mantos de la Fm. Santa Teresa, limolitas y rocas de la asociación ofiolítica y en menor proporción procedentes de la destrucción de las rocas del Dominio Paleogeográfico del Arco Volcánico del Cretácico.

## RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS PALEONTOLÓGICOS

La fauna más joven encontrada en la matriz en diferentes campañas geológicas, está representada por los siguientes fósiles índices: Globigerina spp., Heterohelicidae y Thoracosphaera sp. Estos datan a la formación como de edad Paleógeno. A continuación se observa una tabla que recoge los fósiles encontrados en cada una de las localidades (Tabla I)

Tabla I Distribución de fósiles índices encontrados por localidades que datan la Fm. Manacas

Localidad Fósiles	Rangel	El Brujo
Globigerina spp		X
Heterohelicidae		X
Thoracosphaera sp	X	
Restos de for.plan. reclitalizados y en mal estado (no ident.)	X	
Moldes de cámaras (no identificables)		X

En lo referente a las edades de los diversos olistolitos, están en perfecta concordancia con las edades de las formaciones depositadas anteriormente a la formación del olistostróma Manacas y las cuales se fragmentaron en parte a consecuencia de los sobrecorrimentos, dando lugar a que en el arrastre, los fragmentos integraran parte de la secuencia olistostrómica. Algunas rocas son del Margen Continental y su cobertura, otras de la Asociación Ofiolítica y en menor proporción del AVC.

En mucho de los fragmentos analizados por los petrógrafos se determinó la alteración a minerales arcillosos. Estos especialistas consideran, dada la composición de estos olistolitos y su interacción con el agua, que se produce una reacción, dando lugar a la alteración de los mismos a minerales arcillosos.

## ANÁLISIS DE DATOS DE POZOS



El estudio de la formación Manacas en los pozos de la provincia de Pinar del Río, ha demostrado que la misma presenta condiciones muy favorables como roca sellante.

En el informe “Reservorios de la provincia de Pinar del Río: UTE Sierra del Rosario” (Blanco, S. y otros, 2002) aparecen reflejados resultados que favorecen la hipótesis de nuestra investigación.

...“En los pozos Caridad-4, Chacón-2 y Cayajabo-3, la formación se presenta con baja resistividad y configuración de las curvas respondiendo a serpentinitas, mientras que en el área de Martín Mesa su resistividad es generalmente media; pero en el pozo Pinar-2 cerca de Soroa, los mantos superiores y finales no son precisamente de baja resistividad, sino más bien altas, con intercalaciones”... (Blanco, S. y otros, 2002).

De lo expuesto anteriormente, podemos plantear que la resistividad variable que manifiesta esta formación en los registros eléctricos, viene dada por la diversidad de litología que la compone.

En el informe citado en su análisis también se plantea que:

....“por tanto esta formación guarda interés por sus volúmenes de rocas impermeables que constituyen la matriz de la misma, y esta es mayoritaria en todos los pozos. Por consiguiente, la Fm.Manacas sirve como sello regional en la UTE Rosario dentro del bloque 6 estudiado” (Blanco, S. y otros, 2002).

En opinión de Villavicencio (com. per), la formación Manacas presenta características de roca sellante, y para que esto sea favorecido, es necesario que aparezca en grandes espesores, ya que permitiría que la cantidad de material impermeable sea mayor.

La litología determinada por datos de pozos es similar a la determinada en superficie, durante los trabajos de campo realizados, siendo válido señalar que se encuentran altos por cientos de arcillas y rocas arcillosas en todos los pozos estudiados para la elaboración de este trabajo.

## **COMPARACIÓN DE LA FORMACIÓN MANACAS CON LA FORMACIÓN VEGA ALTA**

### **La Fm. Manacas**

Esta formación fue propuesta por Hatten (Hatten, Ch. W., 1957), aflora en varias áreas de la Cordillera de Guaniguanico y también fue reportada en afloramientos del Bloque Martín Mesa por Vázquez en Martínez y otros (Martínez, D. y otros, 1991) y en el subsuelo por Fernández y otros (Fernández, J. y otros, 1989). Consta de los Miembros Pica Pica y “Olistostroma Vieja”. El Miembro Pica Pica está compuesto por areniscas polimícticas, limolitas tobáceas, calcarenitas, micritas, capitas de pedernales y raros conglomerados y brechas. Hacia la parte superior, comienzan a abundar los fragmentos caóticos, de diferente litología, donde hay calizas de varios tipos, rocas vulcanógenas, ofiolitas, varios tipos de esquistos metamórficos, silicitas, en una matriz areno – arcillosa limolítica, muy similar a los componentes de la Fm. Vega Alta. Este conjunto caótico es el llamado “Olistostroma Vieja”. Allí los olistolitos son de las formaciones carbonatadas Jurásicas y del Cretácico Inferior, de las silicitas de la Fm. Santa Teresa,

calcarenitas de la Fm. Cacarajícara y ofiolitas entre otros. Todo esto fue corroborado por los autores.

J. Fernández y otros, (Fernández y otros, 1989) y García-Delgado y Torres (García, D. y otros, 1997) en el subsuelo y superficie respectivamente, describieron rocas de la Fm. Manacas en el Bloque Martín Mesa (Miembros Pica Pica y Olistostroma Vieja). En el pozo Martín Mesa No.3 entre 255 y 1 130 m, por método de lavado se determinaron las especies *Bekoma bidartensis*, *Lamptonium incohatum*, *Lithocampe sp.*, que permitieron fechar los depósitos como Paleoceno Superior. Datos del Pozo Martín Mesa N°.5 (Núcleo N°.1 entre 801-806 m), Martín Mesa N°.22 (Núcleo N°.1 entre 659-664 m) y Martín Mesa N°.1 (Núcleo N°.10 entre 350-350,7 m y Núcleo No. 11 (entre 358-359,5 m), amplían la edad a Eoceno Inferior con *Globorotalia sp.* (formas cónicas y quilladas) y *Globigerina spp.* Litológicamente además de fragmentos de rocas carbonatadas y de otros tipos, en la parte fina de los sedimentos, se destacan limolitas y argilitas cuya fracción es de cuarzo, glauconita, plagioclasa y finas escamas de mica. También se observan areniscas polimícticas de grano fino. El espesor de los sedimentos olistostrómicos alcanza 800 metros. Bloques de serpentinita en una matriz arcillosa se reportaron entre 0-500 metros en el Martín Mesa N°.2 y en el Martín Mesa N°.21 entre 0-230 metros. García-Delgado y Torres (García, D. y otros, 1997), observaron la secuencia olistostrómica (Miembro Olistostroma Vieja) en superficie, en la antigua Cantera La Molina y otras zonas del Bloque Martín Mesa con edades de Eoceno Inferior hasta Eoceno Medio.

### Fm. Vega Alta

Los sedimentos siliciclásticos y olistostrómicos de esta unidad, se han detectado en todos los pozos profundos desde Guanabo hasta el yacimiento Yumurí. Por lo general, en la formación se distingue una parte inferior siliciclástica y carbonatada que es la más desarrollada, compuesta por alternaciones de calizas arcillosas, calizas organógenas, calcarenitas, margas, limolitas y arcillas de edad Paleoceno Medio y Superior y una parte superior formada por un conjunto olistostrómico, con olistolitos de diferentes tamaños, de calizas prepaleogénicas, así como fragmentos de rocas del Arco Volcánico Cretácico. En las rocas arcillosas carbonatadas que aglutinan estos fragmentos, se han determinado fósiles índices, esencialmente foraminíferos planctónicos como: *Morozovella formosa*, *M. subbotinae*, *Globigerina varianta*, que definen el Eoceno Inferior Temprano. La Fm. Vega Alta, se asocia mucho a los mantos de cabalgamientos, en su parte frontal. De aquí que, su espesor, es muy variable. Mientras en algunos pozos del yacimiento Boca de Jaruco supera los 300 metros, en otros apenas alcanza algunas decenas de metros. El paleoambiente es típico de la zona pelágica, probablemente batial superior (200-500 metros). En el sector que estamos tratando, presenta un contacto discordante sobre las formaciones mesozoicas y un contacto superior tectónico. En los Pozos Varadero N°.4, 13 y 32 puede ser caracterizada la Fm. Vega Alta. En la base es una brecha-conglomerado con clastos calcáreos y fragmentos de granitoides y arcosas. En el Paleoceno Tardío, predominan las alternaciones de arcillas y limolitas calcáreas verdes con algunas calcarenitas y margas. Esta sección, frecuentemente arcillosa en su totalidad constituye un sello regional en las trampas asociadas a las rocas del Margen Continental (UTE Placetas principalmente).

Una vez vistas las características de estas formaciones, podemos percatarnos de la existencia de varios puntos en común para las mismas. Podemos asumir que ambas fueron depositadas en condiciones parecidas. Además, las cuencas en que se depositaron fueron del mismo tipo.



## CONCLUSIONES

La formación Manacas es un típico olistostroma policomponente, resultado del rompimiento de mantos de sobrecorrimientos y su caída en la cuenca. Dado su gran contenido de arcilla, constituye una unidad litoestratigráfica meritoria de serios estudios en cuanto a cualidad y calidad como roca sello. Debemos tener en cuenta, que entre las formaciones que están presentes en esta provincia del occidente de Cuba, esta es una de las que presenta más importancia en lo que a este factor se refiere. La misma presenta varios puntos de coincidencia con la formación Vega Alta, sello por excelencia de los yacimientos del norte de la Habana-Matanzas. Los resultados de los distintos trabajos de investigación, así como los datos de pozos atestiguan a favor de la hipótesis aquí planteada.

## BIBLIOGRAFÍA

Blanco Bustamante, Silvia; R. Segura Soto, B. Villavicencio; D. Brey del Rey; 2002, Reservorios de la provincia de Pinar del Río: UTE Sierra del Rosario, p-48, 49.

Fernández J., C. Núñez, B. Villavicencio, M. L. Díaz y M. Martín, 1989, Estratigrafía del Área Martín Mesa. Archivo del CEINPET, La Habana (Inédito).

García-Delgado, D. y Ana I. Torres, 1997, Sistema Paleógeno en: Estudio sobre Geología de Cuba, C.N.D.I.G. p. 115-140.

García-Delgado, D., C. Díaz, S. Gil, 1998, Contribución al estudio bioestratigráfico de algunas formaciones comprendidas en el límite K-T en Cuba: Geología y Minería '98 Memorias II pág. 297-300.

Hatten, Ch., 1957, Geology of the Central Sierra de Los Organos, Pinar del Río Province, Cuba. O.N.R.M. – MINBAS, La Habana (Inédito).

Linares, E., 2004. Comparación entre las Secuencias Mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba Central y Occidental. Significado para la Exploración Petrolera. Tesis Doctoral. Archivo del CEINPET, 133 p.

Martínez, D., R. Fernández; R. Peláez; M. Vázquez; E. Barrios; A. Valido; R. Reinoso; J. C. Chang; O. Fernández; R. Denis; L. Gómez; D. García; S. Gil; D. Pérez; R. Reyes; M. Valdivia; R. Núñez; R. Pérez; J. Langs, 1991, Informe sobre los Resultados del Levantamiento Geológico y Prospección Preliminar a escala 1:50 000 Pinar – Habana: O.N.R.M. – MINBAS, La Habana (Inédito).

Valladares, S. y otros, 1997. Informe del Proyecto 2006 "Reservorios Carbonatados pertenecientes a la U.T.E. Camajuani". Etapa II, E-259. Archivo del CEINPET, La Habana.

Valladares, S. y otros, 1998. Reservorios de rocas carbonatadas del Margen Continental pertenecientes al Dominio Las Villas y en las bioconstrucciones del Cretácico. Geología y Minería'98. Memorias I. Pág. 717-720 CNDIG, La Habana.



Figura 1 Parte arcillosa del Olistostroma Manacas, Rangell, Pinar del Río



Fig. 2 Olistostroma Vieja de la formación Manacas, Los Tumbos, Pinar del Río



Fig. 3 Formación Vega Alta , localidad tipo el Copey, Villa Clara

## **EQUIPO Y METODOLOGIA PARA ENSAYOS DE LEAK OFF**

Edgar George de Armas, Miriam Legón Morgado, Ramón Acosta Ramírez

*Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington # 169, Cerro. Ciudad de la Habana.  
Teléfonos: 57 - 7309., E - mail: george@ceinpet.cupet.cu.*

Durante las operaciones de perforación y explotación de un pozo de petróleo y/o gas se produce un daño a la formación, cuando esto ocurre entonces hay que realizar una estimulación para incrementar la productividad. Una de las vías de estimulación es la acidificación.

La filtración de los fluidos de estimulación ácida hacia la formación a tratar es perjudicial ya que disminuye la eficiencia del tratamiento. Es decir se requiere que los fluidos permanezcan durante un tiempo frente a las zonas aledañas al pozo.

El coeficiente total de filtración (coeficiente "Leak-off") es considerado uno de los parámetros más importantes a controlar, por lo tanto es de vital importancia calcular o estimar su valor si se quiere obtener un resultado satisfactorio.

Este trabajo tuvo como objetivo diseñar un el equipo necesario para el ensayo e investigar el proceso de filtración en tres tipos distintos de formulaciones.

En Cuba nunca se había podido realizar esta prueba, por no contar con el equipo que rige el procedimiento según la norma de la American Petroleum Institut API. Por otra parte todas las formulaciones creadas para los tratamientos ácidos, se aplicaban sin un análisis previo de este ensayo que indicaría la efectividad de su uso.

Se diseña y fabrica un equipo para la medición del leak off, y se elaboro la metodología, con muy bajo costo, utilizando para ello las celdas de filtrado de los equipos de filtración HPHT existentes permitiendo la evaluación de diferentes tipos de fluidos. También se logró elaborar núcleos sintéticos con permeabilidades variables según los datos de las formaciones.

Por las ventajas técnicas que posee, el equipo se ha usado en otros servicios donde se simulen condiciones de flujo en medios porosos, lo que ha contribuido a la versatilidad del equipo.



## **IMPLICACIONES DE LA MADURACIÓN EN LA ELEVACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS CRUDOS CUBANOS**

O. Pascual Fernández<sup>1</sup>, J. O. López Quintero<sup>1\*</sup>, O. Delgado López<sup>1</sup>, J. G. López Rivera<sup>1</sup>.

*Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) Washington No. 169, Cerro, La Habana 12000, Cuba. Teléfono (537) 577309, Fax (537) 6426021, E-mail: jorlando@ceinpet.cupet.cu*

Los petróleos cubanos de acuerdo a su origen pueden ser considerados como “viejos”, pues son generados por rocas madre de edades anteriores al Terciario, sin embargo, esas rocas madre comienzan a generar y expulsar solamente en el Paleoceno – Eoceno Medio, a partir del emplazamiento de los cabalgamientos. Es por eso que en cuanto a los parámetros de maduración se refiere, estos crudos se comportan como “jóvenes” o “Terciarios”. La causa de este fenómeno parece ser la influencia del corto tiempo geológico para completar la isomerización de los esteranos en crudos generados por rocas del Terciario. Debido a esta situación la determinación de sus niveles de madurez no se puede realizar solamente a partir de los parámetros tradicionales (biomarcadores esteranos) sino que se tuvieron en cuenta otros parámetros físico – químicos y relaciones de isoprenoides / n- parafinas. Los resultados obtenidos permiten pronosticar la calidad comercial de los hidrocarburos en las diferentes áreas del territorio de Cuba.



## **ESTUDIO GEÓLOGO - GEOQUÍMICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS DIFERENTES FAMILIAS DE PETRÓLEOS CUBANOS EN EL ÁREA VARADERO – MAJAGUILLAR – MARTÍ**

**Ing. Ignacio Hernández González<sup>1</sup>, Mcs. Carlos Sosa Meisoso<sup>1</sup>, Dr. Juan Guillermo López<sup>1</sup>**

*(1) Centro de Investigaciones del Petróleo: Washington # 169, Esq. A Churrucá, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba; e- mail: ihdez@ceinpet.cupet.cu*

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se analiza la distribución areal y espacial de los petróleos en la zona Nororiental de la provincia de Matanzas, área en la que se incluyen los yacimientos Varadero, y sus periféricos, Majaguillar y los pozos Martí. Se tomó como base un trabajo anterior (Lopez et al 2001), que abarcó todo el país y que analizó de una manera más somera la distribución de los crudos en diferentes transeptos a lo largo de la nación y se decidió realizar un estudio más local y que analizara también las posibles vías de migración relacionando los petróleos con las rocas madre conocidas. Para esto se partió de la hipótesis de que las familias de crudos se distribuyen en forma de franjas siguiendo el rumbo de los cabalgamientos en la misma forma que están distribuidas las rocas madre que los originaron.

Para lograr este objetivo se utilizaron los datos de todos los análisis de muestras de hidrocarburos existentes en el área, así como los de rocas madre. Además se estudio la geología del área y se eligió el modelo más conveniente para aplicarlos en este estudio. A partir de esto se realizaron tres transeptos esquemáticos a través de los pozos más importantes de la región, en ellos se muestra la distribución de las UTEs conocidas y los datos de los análisis geoquímicos ubicados espacialmente, lo que permite determinar las posibles vías de migración relacionando los petróleos con las rocas madre.

### **ABSTRACT**

The present work is a study of the spatial distribution of the known oil families and its relationships between themselves and also with the known source rock in the selected area, paying attention to the migration paths, seals and reservoir structures. The zone of study is located in the northeastern part of the Matanzas Province. The study was based in an earlier work (Lopez et al 2001), which analyzed in a shallow way the distribution of the three oil families along several schematics cross sections in the most strategic areas of the country. The fact make us decide to do a more local study, which would also take care of the other factors we mentioned before. Coming from the hypothesis that the oil families in Cuba are found in separated zones stripes like, following the strike of the thrust belt, in a very tight relationship with the existence of the related source rock in the surrounding areas.

In order to do that work we used all the data obtained from the analysis of oil samples as well as those of the samples of source rocks. Besides we made a deep study of the geology of the area, analyzing almost all the former geologic models, an geologic and geophysical maps in order to construct our own geologic model of the distribution of the source rocks, and migration path. We placed all the data obtained in three schematic cross sections that are the final outcome of this work.

### **INTRODUCCIÓN**





La elección de esta región para desarrollar esta investigación, estuvo motivada en primer lugar, por la información que de ella existe. Constituyendo una de las áreas más investigadas desde el punto de vista geológico, geofísico y geoquímico en el país, Prueba de esta afirmación es que en ella han sido analizadas muchas muestras de petróleo, además de encontrarse en ella gran número de mediciones del gradiente geotérmico, más un aceptable estudio de las rocas madre, contando para ello con informaciones provenientes de muestras tomadas en muchos pozos del área y por unos de los pocos registros geoquímicos de pozos realizados en el país, el del pozo Marbella Mar 1.

En el área no se conoce la existencia de uno de los tres tipos de petróleos reportados en el país (López J.O. et al 1997), el perteneciente a la familia II. Esto pudiera ser una limitante a la hora de aplicar el modelo obtenido en áreas donde si existe esta familia de crudos.

La hipótesis que guió nuestra investigación está fundamentada en la zonación existente entre los principales grupos de rocas madres, al sur y al norte, que generan hidrocarburos con características particulares y la aparición de depósitos que mantienen cierta regularidad, con una marcada zonación también, siguiendo ambos la dirección del rumbo cubano, WNW – ESE; sin desconocer la existencia de irregularidades en la zona de transición entre los diferentes tipos de rocas madre, donde existen mezclas de los crudos generados.

#### **Los objetivos que persigue este trabajo son:**

1. Generalizar la información existente, relacionada con las rocas madre estudiadas en la región, así como la datación sobre los crudos conocidos.
2. Estudiar o analizar la dependencia entre las características de los crudos conocidos en la región y las particularidades en cuanto ambiente de sedimentación de las posibles rocas madre que les dieron origen.
3. Estudiar la zonación existente entre las distintas familias de crudos conocidos en la región y las regularidades en la zonación de las rocas generadoras, así como la explicación lógica a la que puede atribuirse la misma.
4. Establecer el modelo geólogo – geoquímico para la región de estudio, en la que existe una voluminosa información, para compararlo con los definidos en otras regiones con un menor grado de estudio, e influir con ello en la tarea de la exploración de hidrocarburos en el país.
5. Definir la posible migración de hidrocarburos generados por las rocas de la cuenca del margen continental, hacia las rocas de la plataforma.

En la misma área de estudio, se han llevado a cabo estudios de las zonación de los diferentes tipos de petróleos, ha sido estudiada la maduración de las rocas madre, y la madurez de los crudos entre otros muchos estudios. Pero hasta ahora no se había tratado de analizar toda esta información y determinar todas las relaciones entre los diferentes aspectos y llegar a resultados que no solo sirvan para describir el área, sino que también sirvan de guía para la exploración en áreas similares y como guía para los pasos a seguir



en investigaciones de este tipo en áreas que difieran de esta ya sea en la geología, la tectónica, o las características de los petróleos presentes.

Por otro lado la investigación que se llevará a cabo de las posibilidades de la existencia de migración lateral entre las UTE de cuenca y la Plataforma Carbonatada, puede suponer una contribución en la exploración mar afuera en la Zona Económica Exclusiva de Cuba en el Golfo de México ya que resolvería el problema de el desconocimiento de las posibles rocas madre en ese ambiente.

Estos dos aspectos por supuesto tendrán una repercusión económica, ya que el establecimiento de la zonación de los petróleos de las distintas familias y sus relaciones entre si y con las rocas madre, debe simplificar la tarea de la exploración, en el sentido de determinar los objetivos más interesantes económicamente en regiones semejantes y el de dirigir con más seguridad los esfuerzos en la búsqueda de hidrocarburos de mejor calidad dentro de un área dada.

## **MATERIALES Y METODOS**

Para la realización de este estudio fueron utilizados todos los datos geoquímicos disponibles en el área de estudio, los que incluyen cromatografías y fragmentogramas de numerosas muestras de crudos de la zona, así como resultados de análisis por el método de rock eval de muestras de rocas madre y también algunos estudios de extractos de estas mismas rocas generadoras. Además se trabajó con toda la información de los pozos más importantes del área y la información geólogo – geofísica más actualizada.

Toda esta información fue ubicada areal y espacialmente, en cortes geológicos esquemáticos pudiéndose así analizar las relaciones roca madre – petróleo y a partir de esto las posibles vías de migración.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para la construcción del modelo geólogo – geoquímico del área en general, se construyeron tres perfiles con una dirección aproximada, suroeste – noreste aproximadamente transversal a rumbo de las estructuras existentes. Además se trató de que los mismos pasaran por las zonas de yacimientos y pozos con manifestaciones de petróleo ya estudiadas geoquímicamente para de esta manera, poder, reflejar los datos geoquímicos en el plano del perfil, así como la distribución de los tipos de hidrocarburos en profundidad a lo largo del perfil.

### **Transepto A-A' (Preciosa – Cayo Blanco).**

Este es el perfil más occidental ubicado en el área (fig. 1), se extiende desde los pozos Preciosa en la parte más suroccidental del área hasta el pozo Cayo Blanco 1X en la parte más norteña del área. De los tres perfiles este es el más importante ya que este pasa por varios yacimientos, entre ellos el de Varadero, y abarca todas las UTEs conocidas en la región, más las rocas pertenecientes al arco de islas y a la corteza oceánica.

Las características más importantes que debemos destacar, se relacionan a continuación:

— Todos los petróleos de esta parte que encontramos en la UTE Placetas en la parte que abarcan los yacimientos, Varadero – Marbella Mar son semejantes (todos

pertenecen a la familia I) son petróleos pesados y extrapesados, con alto contenido de azufre.

— Los petróleos que conocemos de la UTE Camajuaní, que se encuentra por debajo de la UTE Placetas en el área que abarcan los pozos Marbella – Mar son muy similares a los encontrados en esta última.

— El petróleo encontrado en los sedimentos sinorogénico entre las dos UTEs tiene un origen similar a los encontrados en ambas, pero tienen características comerciales mucho mejores (posible dismigración o fraccionamiento evaporativo).

— Un aspecto importante a señalar es la inmadurez las rocas madres presentes en la columna geológica registrada por los pozos hasta el momento, (según los datos de T máxima determinados por ROCK EVAL y de reflectancia de la vitrinita). Por cuanto podemos decir que los petróleos de las áreas anteriormente descritas no son generados por las rocas que lo contienen, así que deben originarse o más al sur y trasladarse por medio de una migración intramantos desde el sur donde encontramos la zona más enterrada del manto o más abajo en el corte geológico donde estas mismas rocas yacen a más profundidad en otros mantos inferiores y ascienden los crudos hacia las trampas donde se encuentran en la actualidad valiéndose de las fallas verticales existentes.

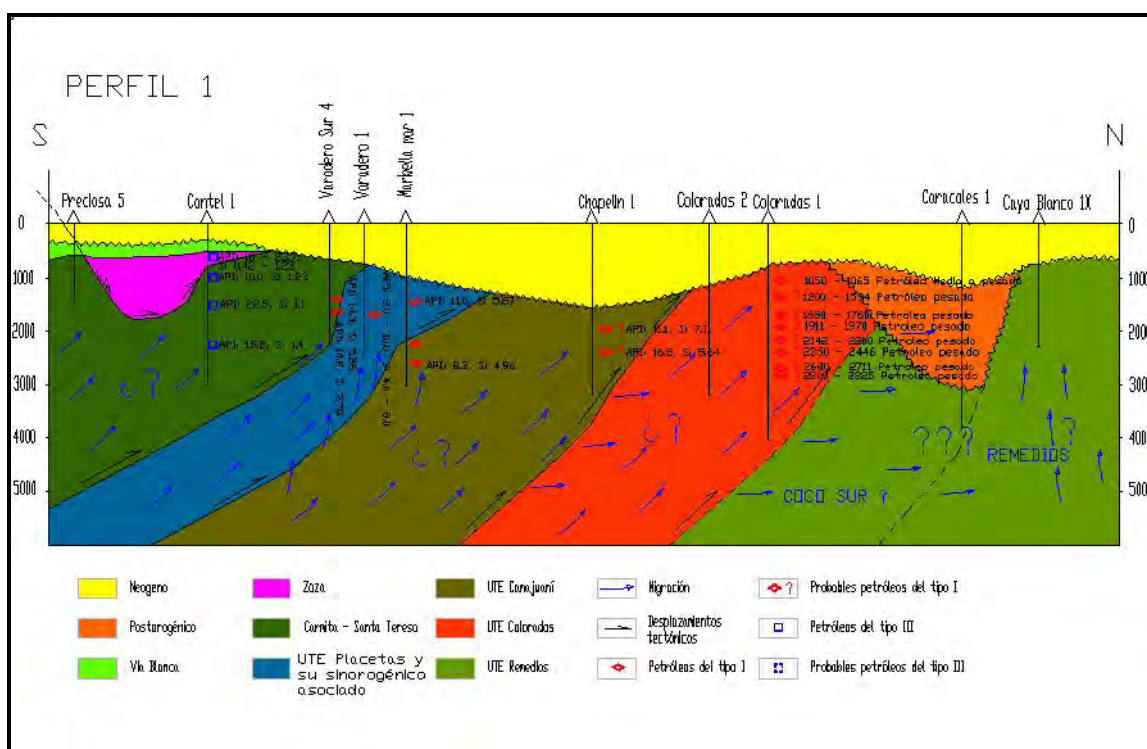


Fig. 1 Transepto esquemático, Preciosa – Cayo Blanco

— En estas áreas la afectación de los petróleos por biodegradación es mínima, esto con seguridad es debido al alto contenido de azufre que frena la acción de las bacterias que los degradan. Pero otros factores secundarios si han afectado los yacimientos de



hidrocarburos de estos el más importante es el escape de la fracciones ligeras hacia la superficie, lo que se reafirma por la existencias de acumulaciones de hidrocarburos de mejor calidad dentro de los sedimentos sinorogénicos que se imbrican tectónicamente con los mantos de las UTEs, también la presencia de capas asfálticas en el subsuelo sobre los yacimientos y algunas manifestaciones superficiales sobre el fondo marino, las cuales se han explotado comercialmente puede deberse al escape y posterior biodegradación de la fracción ligera de estos.

— En el área de Cantel - Camarioca 6 los crudos encontrados son todos de la misma familia, la familia III, aunque han sido hallados en tres niveles diferentes. Este resultado se puede extrapolar a los pozos Preciosa más hacia el suroeste, pero que atraviesan las mismas secuencias.

— En el nivel más somero del yacimiento cantel, el petróleo contenido en las serpentinas, presenta un alto grado de biodegradación, esto hace que aunque sean petróleos que por su origen deben tener mejor calidad comercial que los descritos en las demás áreas, no sea así en la realidad. Esta alta biodegradación es debida a su cercanía con la superficie y con ello mayor presencia de bacterias favorecido esto último por su menor contenido de azufre original.

— Los petróleos de los niveles inferiores, que se encuentran en rocas de la formación Carmita, parecen haber sido generados por rocas madre de esta misma formación, ya que la materia orgánica que le da origen tiene aporte terrígeno y carbonatado. Su grado de maduración es bajo.

— Los petróleos de las áreas Camarioca -Varadero Sur – Cardenas, son fundamentalmente de la familia I, pero parecen tener cierto grado de mezcla con los petróleos que encontramos en el vecino Yacimiento Cantel.

— El pozo Chapelín 1, es el más norteño de los ubicados en el perfil con información geoquímica, este corta las rocas de la UTE Camajuaní, donde existen acumulaciones de hidrocarburos de carácter industrial, que según la información, son viscosos, de altos contenidos de azufre ( $S= 7.38\%$ ). Por lo que se puede suponer pertenezcan a los crudos de la familia I, generados por rocas madre de la UTE Camajuaní .

— El pozo Colorados 1 encontró manifestaciones de petróleos, contenidas en rocas que no parecen tener potencial como rocas madre (UTE Colorados) además del hecho de ser manifestaciones de petróleos pesados y sulfurosos, posiblemente pertenecientes al tipo I nos hace suponer que son crudos migrados de las más sureñas UTEs Placetas y o Camajuaní, que si tienen abundantes niveles de rocas madres conocidas.

— En el pozo Cayo Blanco 1X se encontraron muy escasas manifestaciones de hidrocarburos, generalmente trazas detectadas por fluorescencia. Las rocas cortadas de la UTE Remedios, parecen tener un potencial generador muy bajo. Por esto se piensa en dos posibilidades: una es que las trazas se deban a muy pequeñas cantidades de petróleos generados por rocas pertenecientes a esta UTE que muy localmente presentaran mejores contenidos de materia orgánica, o de rocas madre, situadas por

debajo de las rocas de plataforma somera de Remedios teoría apoyada por los resultados de los análisis llevados a cabo por los especialistas brasileiros en el pozo Felipe 1X. Otra posibilidad es que los restos de hidrocarburos provengan de una migración lateral de petróleos generados por las rocas de las UTEs Placetas y Camajuaní, que debió ocurrir antes de la formación de la cuenca foreland cortada por el pozo Caracoles 1, la cual debe haber cortado, dada su profundidad, todo el flujo de hidrocarburos con posterioridad a su formación. Todo esto trae como consecuencia que a pesar de la existencia de un sello con calidad para retener acumulaciones de petróleo en estas rocas, estas no existen. Pero la realidad es que esta es una sola suposición y no existen indicios que la apoyen, ya que las migraciones laterales a largas distancias y a través de mantos cabalgados es a nuestro entender bastante improbable, y no hemos podido hasta ahora conocer la existencia de ejemplos que apoyen esta teoría.

### Transecto B-B' (Cantel Este - Cayo Blanco)

Como se puede apreciar en la figura 2 este perfil se encuentra muy cercano al anterior, y es casi paralelo a él. Se extiende desde el área del yacimiento Cantel hasta la zona donde está ubicado el pozo Cayo Blanco 1X, pasando por el yacimiento Guasimas, el pozo cuchillo, los pozos Litoral y Litoral Pedraplén y el Pozo Cupey 1X.

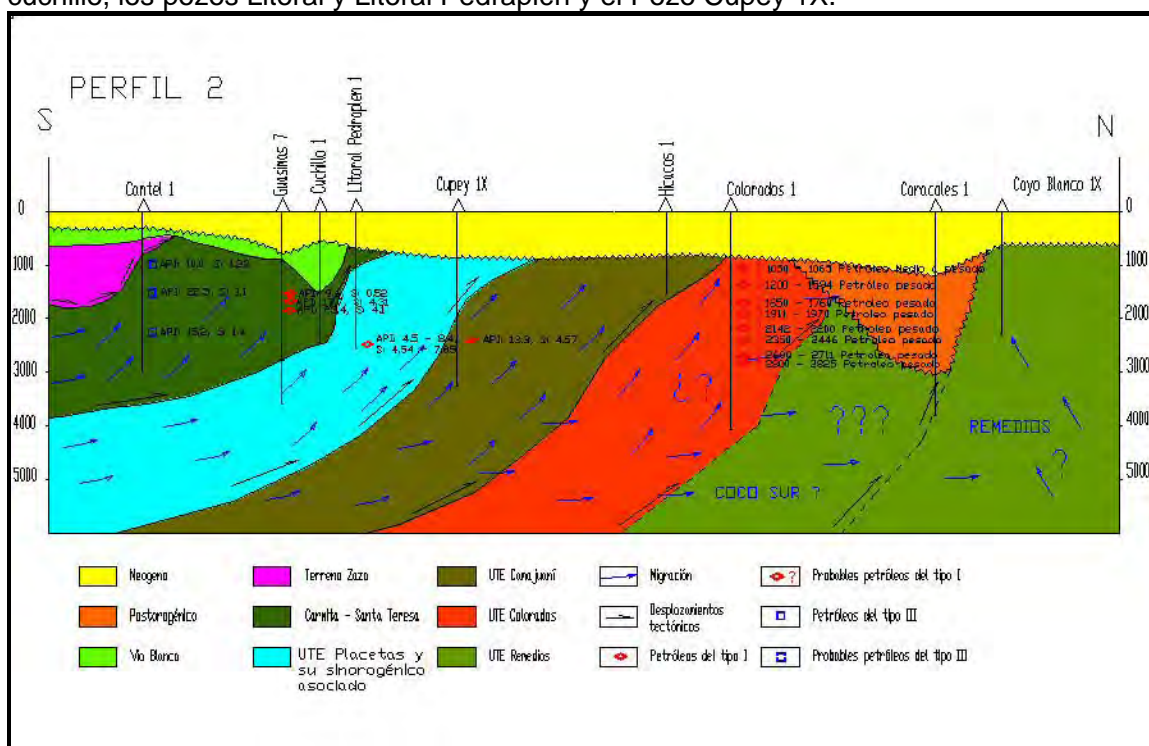


Fig. 2 Transecto esquemático, Cantel – Cayo Blanco

Las características más importantes que pueden obtenerse de los pozos de este transecto son:

— El yacimiento Cantel muestra tres niveles saturados de petróleos de la familia III, sus crudos muy biodegradados están situados en el nivel superior integrado por rocas serpentiniticas, y los niveles inferiores, Pero todo esto ya se explicó en la sección anterior.



— El yacimiento Guásimas puede correlacionarse con los yacimientos Varadero Sur y Camarioca por su situación geográfica y por sus petróleos, los que pertenecen a la familia I, y son crudos de alta densidad y altos contenidos de azufre, pero se hallan afectados por mezclas con los petróleos de la familia III, como los conocidos en el yacimiento Cantel.

— Los petróleos que se encuentran en las rocas de la UTE Placetas registradas por los pozos Cuchillo, Litoral Pedraplén y Cupey 1X, son con seguridad de la familia I, esto se puede deducir de la baja gravedad API que poseen los mismos, es fácil correlacionar estos pozos con los yacimientos Varadero y Marbella desde el punto de vista estratigráfico y de los petróleos, por lo que se deducen las mismas características de inmadurez para las rocas madres descritas en la sección anterior, con las mismas supuestas formas de migración que se citaron en ella.

— El pozo Cupey 1X corta las rocas de la UTE Camajuaní, donde se encuentran petróleos de bajas gravedades API (13.3°) y alto contenido de azufre (4,57%), por lo que se puede suponer que al igual que los conocidos en el pozo Marbella Mar 1, sean de la Familia I.

— En el área de la Bahía de Cárdenas hay reportadas varias manifestaciones submarinas, las cuales podemos suponer que son petróleos escapados de los yacimientos infrayacentes, que están afectados por la biodegradación. Aunque no tenemos información alguna, suponemos que estos corresponden también a la familia I.

— La ausencia de rocas madre en el corte y de manifestaciones de petróleo que sean estimables, son los datos conocidos de la UTE Remedios, que se encuentra siguiendo el perfil más al norte hasta la altura del pozo Cayo Blanco 1 X el cual como sabemos tuvo carencia de manifestaciones de importancia.

### **Transepto C-C' (Golden Hope – Martí – Majaguillar - Blanquizar)**

Este es el perfil trazado por la parte más oriental del área de estudio, figura 3, tiene una dirección igual a los anteriores.

En esta sección se observa la misma distribución de los petróleos que en las otras secciones, aunque se pueden destacar algunas particularidades.

— El pozo Martí 2 es la nota discordante en este perfil con respecto a los anteriores, ya que en el se estudió una muestra tomada de la boca del pozo, que resultó pertenecer a la familia I, lo cual resultó bastante extraño, conociéndose que este pozo se encuentra situado más al sur que el Martí 5, en el cual se detectaron petróleos de la familia III, esto podría hacernos dudar de la distribución en franjas que hemos planteado anteriormente. Pero esto puede explicarse por la gran complejidad tectónica que existe en el área.

— Los petróleos encontrados en el pozo Martí 5 a la profundidad de 3800 m pertenecen a la familia III, al igual que los estudiados en el Yacimiento Cantel, aunque las rocas que los contienen son diferentes. En el Martí 5 se reportan rocas del Grupo Veloz.



Pero que por la presencia de sedimentos clásticos esencialmente cuarcíferos, tal determinación puede ponerse en duda, además, no son semejantes a las encontradas en Cantel, donde se han estudiado las secuencias de la formación Carmita, teniendo esta importantes fracciones terrígenas de cuarzo (sosa 2002 y 2004) y junto con esta fracción, materia orgánica de tipo continental, que puede originar petróleos de la familia III.

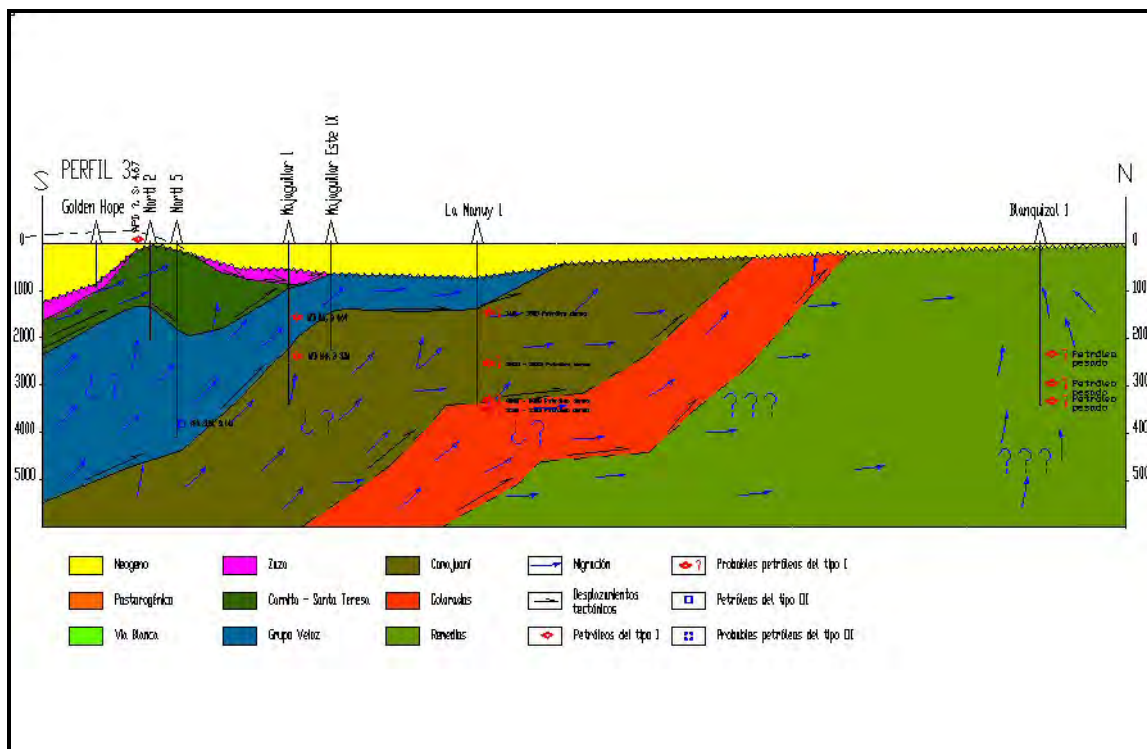


Fig.3 Transepto esquemático, Golden Hope – Blanquiza

— Los petróleos del pozo Martí 5 no presentan altos índices de biodegradación, esto se debe con seguridad a la profundidad a que se encuentran esos crudos, la que es mayor a las de cualquier nivel del yacimiento cantel del yacimiento Cantel. Pero si en el cromatograma se nota que ha sufrido procesos de desgasificación y evaporación, por los que presenta un API relativamente bajo para su clase.

— Los hidrocarburos encontrados en los pozos del yacimiento Majaguillar son de la familia I, son muy parecidos a los conocidos en las áreas de Varadero y Marbella Mar, pesados y con altos contenidos de azufre. Contenidos en las rocas de la UTE Placetas y de la UTE Camajuaní que la subyace.

— Los niveles de maduración son bajos en el yacimiento Majaguillar en general, lo que es característico para estos petróleos. Se ha demostrado una biodegradación ligera, que puede ser atribuida al alto contenido de azufre en esos petróleos.



— En el pozo la Manuy 1, se reportan algunas manifestaciones de petróleo denso, coincidente con lo que debía esperarse, ya que para esta zona los petróleos deben ser de la familia I. Además en las partes más someras del corte se describieron rocas bituminosas, lo que puede ser atribuido a los escapes de hidrocarburos como se conoce en otros yacimientos de crudos pesados.

— Hacia el norte del transepto donde se conocen las rocas de la UTE Remedios, se extrapoló el pozo Blanquizal, el cual según los datos de su perforación reportó numerosas manifestaciones de hidrocarburos pesados, a veces ya en estado sólido. Al igual que las escasas manifestaciones registradas por el Cayo Blanco 1X se suponen varias posibilidades para su origen, las cuales se mencionaron en la descripción de este pozo en el primer transepto. Desafortunadamente, en la zona donde se perforó el pozo Blanquizal 1 no se registró un sello capaz de retener acumulaciones industriales de petróleo como el encontrado en el Cayo Blanco 1X. Por lo que se establece como un buen criterio para la exploración en la UTE remedios en caso que fuera factible la migración lateral desde las UTEs Placetas y Camajuaní, una zona intermedia entre las de estos dos pozos, donde exista el sello de Cayo Blanco y no exista la cuenca foreland, como ocurre a la altura del Blanquizal.

## CONCLUSIONES

1. Se establecieron con bastante exactitud las relaciones existentes entre los petróleos conocidos y las rocas madre que los generan en la región, teniendo en cuenta no solo la capacidad de una roca de generar un tipo u otro de crudo, sino también, que la posición geológica de las mismas en la región, permitan suponer esta conexión.
2. La zonación existente en la distribución de los crudos de las dos familias conocidas en la zona, en franjas más o menos paralelas al rumbo cubano, está en correspondencia con la distribución de las rocas madre que las generaron. La excepción la constituye el petróleo de la familia I hallado en la boca del pozo Martí 2, la que aún no tiene una clara explicación, pero se atribuye a la complejidad tectónica que puede dar lugar a que rocas del grupo Veloz se encuentren un poco más al sur que las rocas de la formación Carmita que generaron el crudo muestreado en el pozo Martí 5.
3. El modelo geólogo geoquímico de la región admite la existencia de al menos dos sistemas petroleros: uno situado más al sur, donde se acumulan petróleos de la familia III, y cuyas rocas generadoras deben ser las de la formación Carmita, debido a su composición litológica, y la amplia presencia de material terrígeno, con materia orgánica de origen terrestre, lo que es corroborado por los análisis de extractos de estas rocas. El otro sistema petrolero es el constituido por los petróleos de la familia I cuyas rocas madre, de acuerdo a su composición y distribución en el área deben ser las del grupo Veloz y también las rocas madre estudiadas de la UTE Camajuaní. Existe una zona intermedia donde influyen ambos sistemas (yacimientos Guasimas y Varadero Sur), donde pueden encontrarse mezclas de ambas familias, con predominio de la familia I.
4. La migración para el sistema petrolero sureño debe haber ocurrido, de sur a norte con una componente vertical, a través de fracturas y microfracturas, dentro de los propios mantos de la formación Carmita, que más al sur estuvieron enterradas bajo potentes mantos de ofiolitas y rocas del arco volcánico Cretácico, elementos que propiciaron la



generación al permitir que la misma alcanzara la profundidad de la zona de cocina, Ya que en el área donde se muestrearon estos petróleos estas rocas no parecen haber alcanzado la madurez suficiente. En el otro sistema petrolero la migración pudo haberse efectuado de la misma manera, desde posiciones estructurales más meridionales y profundas de los mismos mantos que contienen las acumulaciones, o de mantos más profundos que subyacen los yacimientos, y de donde pudieron migrar a través de fallas trascurrentes verticales.

5. La migración de los crudos generados por las rocas de las UTEs Placetas y Camajuaní y acumulados en las rocas de plataforma (UTE Remedios), constituyendo importantes depósitos, no ha podido ser demostrada, ya que no existen evidencias que permitan afirmar esto. Las escasas manifestaciones encontradas en los pozos perforados en estas rocas (trazas de petróleo por fluorescencia y trazas de hidrocarburos sólidos), no han sido analizadas, por lo que es difícil determinar su origen. Por otro lado, estas largas migraciones laterales, con el impedimento adicional de tener que atravesar límites tectónicos entre mantos cabalgados y en el sentido de los cabalgamientos es bastante improbable, lo que se confirma por los datos del contacto agua petróleo de los yacimientos conocidos en el área y en la franja norte de crudos pesado los cuales hacen suponer que no hay comunicación hidrodinámica entre las diferentes escamas. Y por último los resultados aportados por los estudios llevados a cabo por especialistas brasileños en el pozo Felipe 1X, los conducen a la idea de que las manifestaciones de petróleo encontradas en ese pozo, pertenecen a petróleos generados por esas mismas rocas, que localmente pudieron tener mejores contenidos de materia orgánica, pero que en general es bastante bajo, de ahí la escasez de las manifestaciones.

## BIBLIOGRAFIA

- López, J.G., O. Pascual, J.O López, O. Delgado, Z. Domínguez, V. Barreras, C. Sosa, (2001) Calidad de los petróleos en los yacimientos de Cuba. Informe Interno Archivo del Ceinpet, La Habana, Cuba.
- López, J.O., Navarrete, L. E., Pascual, O., López, J. G. Blanco, M. (1997) Caracterización geoquímica para la exploración de hidrocarburos en Cuba. Informe Interno Archivo del Ceinpet, La Habana, Cuba.
- Sosa C., J.G. López, O.Pascual, E. Teruel, 2002, Aproximación a un estudio integral de la formación Carmita y su capacidad generadora. CD congreso de geofísica 2002, La Habana
- Sosa C., J.G. López, O.Pascual 2004, Carmita formación as an important consideration for the new palinspastic reconstruction. Congreso AAPG Cancún 2004.



## PROPUESTA DE LOS TRABAJOS DE EXPLORACION A REALIZAR EN MAJAGUILLAR

**Gustavo Echevarría Rodríguez <sup>(1)</sup>, Raúl Rodríguez Menduiña <sup>(2)</sup>, Silvia Blanco Bustamante <sup>(3)</sup>, Maritza Rodríguez Viera <sup>(4)</sup>, José Hernández León <sup>(5)</sup> y Yusneurys Pérez Martínez**

(1) (2) (3) (4) (5) y (6) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Esquina a Churruga, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. Email: [mendui@ceinpet.cupet.cu](mailto:mendui@ceinpet.cupet.cu)

### RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en el marco del Proyecto 2509 "Exploración en bloques controlados por compañías extranjeras", correspondiente a la Etapa 11.1, dedicada a las propuestas de trabajos de exploración a realizar en el Bloque 9, con el objetivo de mejorar la toma de decisiones en el proceso de exploración.

El objetivo del trabajo consiste en elaborar criterios técnicos que permitan esclarecer las causas de los insuficientes resultados productivos obtenidos en los pozos del yacimiento Majaguillar y establecer recomendaciones que contribuyan a una mejor definición productiva de los pozos perforados el área.

### ABSTRACT

The present work was carried out in the mark of the Project 2509" Exploration in blocks controlled by foreign companies", corresponding to the Stage 11.1, dedicated to the proposals of exploration works to carry out in the Block 9, with the objective of improving the taking of decisions in the exploration process.

The objective of the work consists on elaborating technical approaches that allow to clarify the causes of the insufficient productive results obtained in the wells of the location Majaguillar and recommendations that contribute to a better productive definition of the perforated wells the area to settle down.

## INTRODUCCION

Es de gran interés de CUPET y política de nuestro país el incremento constante de la producción de petróleo por medios propios o por medio de la colaboración con compañías extranjeras las cuales fundamentalmente aportan el capital y la tecnología de punta.

El área de Majaguillar llamó la atención desde la década del 70 del pasado siglo por tener una configuración geomorfológica similar al área de Varadero – Península de Hicacos pues consta de un área contigua al canal de La Manuy y el Cayo Península Cinco Leguas, con rumbo SO – NE al lado sur de la Bahía de Cárdenas y paralelo a la Península de Hicacos.

La realización del presente trabajo surge por la necesidad de mejorar la toma de decisiones en el proceso de exploración y desarrollo del área de Majaguillar en el Bloque 9, operado por la Cía Sheritt de Canadá.

El objetivo del mismo consiste en elaborar criterios técnicos que permitan esclarecer las causas de los insuficientes resultados productivos obtenidos aquí y establecer recomendaciones que coadyuven a la definición productiva del área. Este trabajo se hace como preparación necesaria para las reuniones técnicas con la Cía operadora, sobre la definición de la política exploratoria y desarrollo futuro en la mencionada área y mejorar de esa manera, la labor de la contrapartida técnica de CUPET.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza un trabajo de reinterpretación de todos los materiales litólogo – paleontológicos, a partir de la revisión de núcleos y cuttings, para definir el corte estratigráfico de cada pozo, que conlleve a la confección de un esquema geólogo-estructural del area en cuestión.

Se estudian las electrofacies presentes en cada formación, así como su integración con los estudios litólogo – petrográficos, de reservorios y sellos del area. Además se realiza un estudio detallado de la historia de la exploración, los datos de ensayo y producción de los pozos perforados. Por ultimo, se integraron los datos geólogo – geofísicos y de la geología del petróleo para el esclarecimiento de las condiciones y condicionales productivas de los pozos del área.

## RESULTADOS

La exploración del área Majaguillar se inicia en el año 1989 con la perforación del pozo Majaguillar 1, que alcanzó la profundidad de 3395 m. el mismo tenía el objetivo de descubrir las UTEs Placetas y Camajuaní, dicho objetivo fue alcanzado de forma exitosa y con buenas manifestaciones de hidrocarburos (HC), las cuales fueron ensayadas por pruebas de formación (PF), filtro y por punzados, dichos ensayos no entregaron producción de hidrocarburos, solo agua de capa y no entradas. Se consideró que los ricos reservorios encontrados fueron dañados por el peso del lodo utilizado durante la perforación y por el largo tiempo que estuvo expuesta la capa al mismo (13 meses).

Con posterioridad se consideró por la EPEP Centro utilizando la explanada del Majaguillar 1 perforar otro pozo el Majaguillar 21, dirigido al noreste para encontrar el tope de Placetas mas alto (Fm. Vega Alta) el cual alcanzó la profundidad de 3385 m. por el largo del instrumento. Este pozo tiene un gran espesor de rocas sinorogénicas (845 m) y es productor en esa secuencia en

el intervalo selectivo de 1713 – 1275 m y una producción acumulada de aproximadamente 25000 m<sup>3</sup>.

Años después la compañía Sherritt perforó los pozos Majaguillar 2 (vertical) y Majaguillar 3 (dirigido) y el pozo exploratorio Majaguillar Este 1.

El pozo vertical Majaguillar 2 alcanzo una profundidad de 2115 m y el inclinado Majaguillar 3 alcanzo una profundidad de 2530 m. Finalmente dicha compañía hizo mas hacia el este el pozo exploratorio Majaguillar Este No1, independiente del yacimiento de los pozos anteriores.

Los pozos Majaguillar 2, 3 y Majaguillar Este 1 tienen una producción acumulada de aproximadamente 27000 m<sup>3</sup>, 48000 m<sup>3</sup> y 5000 m<sup>3</sup> respectivamente.

### **Estratigrafía del área Majaguillar.**

El corte estratigráfico de los pozos del área comprende las rocas del piso estructural postorogénico, Sedimentos Sinorogénicos de la cuenca antepaís y los depósitos de margen continental, referidos a las UTE Placetas y Camajuaní.

Los depósitos de margen continental de la UTE Placetas, conocidos en los pozos de la Franja Norte de Crudos Pesados, comprenden: las Fm. Carmita, Morena, Ronda – Parte Alta de Cifuentes (Paquete I), Indiferenciadas. No existen evidencias de las Fm. Santa Teresa y Constanacia.

Las secuencias del margen continental referidas a la UTE Camajuaní están representadas por las Fm Margarita y Jaguita que se diferencian de los depósitos isócronos de Placetas en que presentan aportes de aguas someras, expresados en finas intercalaciones de grainstone y packstone de intraclastos y foraminíferos bentónicos. A su vez las rocas de estas formaciones encontradas en los pozos estudiados presentan un ligero aporte de material siliciclástico, que no se encuentra en los anteriores, que sugieren una influencia de una tierra emergida.

La secuencia del manto ofiolítico del Terreno Zaza se encuentra destruida y esta representada por depósitos caóticos tipo olistostromas que se encuentran solo en los pozos ubicados mas al sur (Mj 1 y MJ. 21) lo que evidencia que estas rocas junto a los depósitos de Fm. Carmita que los infrayace corresponden a mantos que quedaron atrás.

Se definen en el área sedimentos Sinorogénicos de edad Paleoceno, similares a los encontrados en el Bloque Central de Boca Jaruco y en los yacimientos Puerto Escondido – Canasí y Yumurí – Seboruco, los cuales funcionan como reservorios gasopetrolíferos y que en esta área están asociados a entradas de petróleo.

En la Fig. 1 se presentan los resultados obtenidos después del estudio litólogo – estratigráfico de todos los pozos del yacimiento Majaguillar.





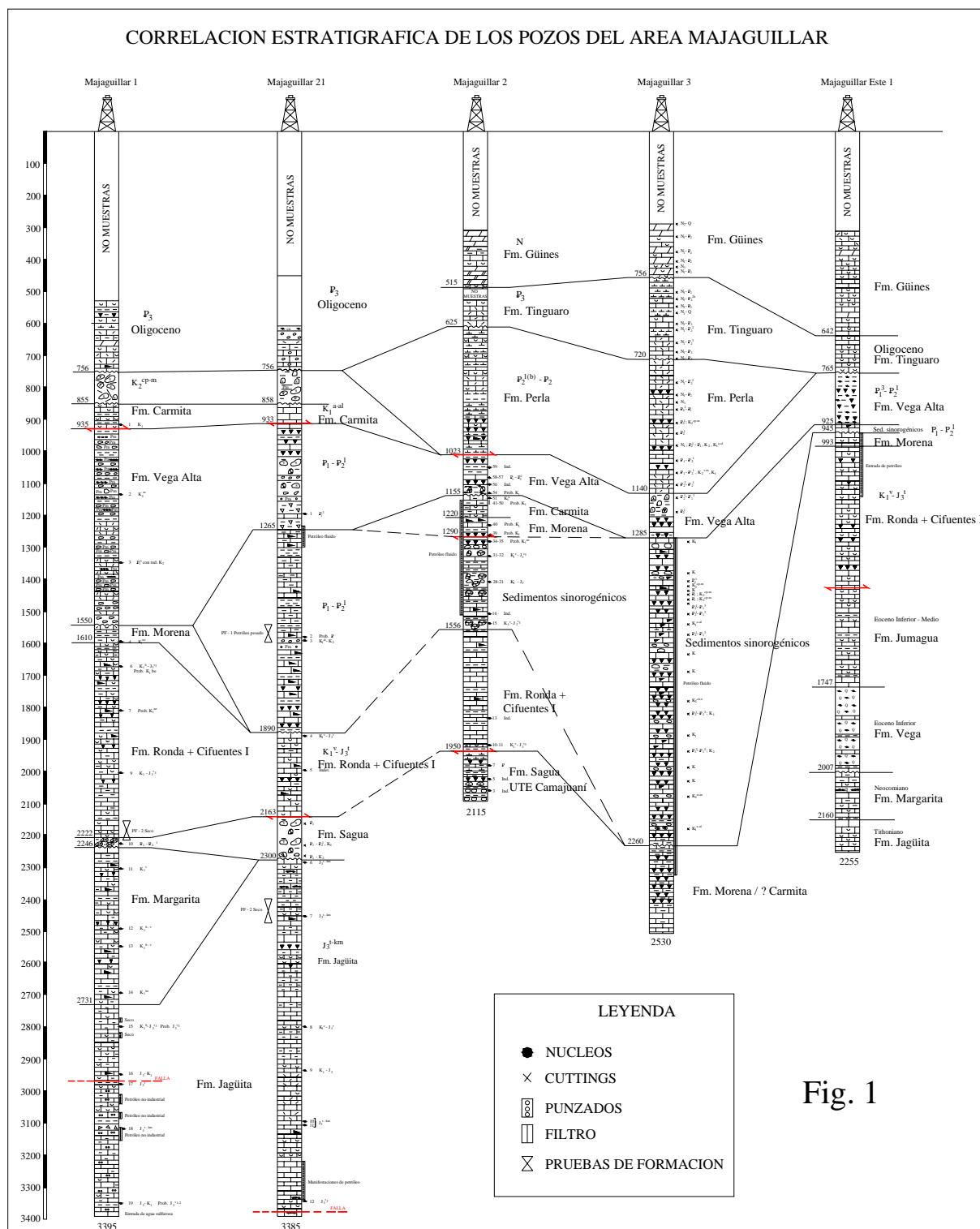


Fig. 1

## Electrofacies en los pozos del área Majaguillar.

Se conoce como “Electrofacies” el conjunto de valores obtenidos de los registros de pozo de forma directa o de la interpretación de los mismos y que delimita o caracteriza una facie geológica, la que está definida a partir de las propiedades de las rocas adquiridas durante la sedimentación y que dependen de las condiciones ambientales, tanto física, química como biológica en la que se formaron.

Para definir las mismas en el área Majaguillar se confronta la dificultad de que los pozos realizados son pocos, Majaguillar 1, 2, 3, 21 y Este 1 y perforados en diferentes épocas, lo que hace que el complejo de registros utilizados sea disímil en cada uno; algunos son muy inclinados (el 3 y 21) además de la complejidad propia que presenta área.

Antes de pasar a describir directamente las Electrofacies creemos necesario hacer algunas observaciones:

- En el reestudio realizados en los pozos en las muestras de canal y núcleos, se detectó en los pozos inclinados Majaguillar 21 y 3 la presencia del Sin orogénico por debajo de Vega Alta, y dentro de él, facies de Creta, las que se conocen presentan muy buenas propiedades como rocas reservorios en pozos inclinados del bloque 7
- En el pozo Majaguillar 2, por debajo de Morena, aparece una secuencia de brechas conglomerados y rodstone, que se ha adjudicado siempre a Ronda, pero que realmente no tiene que ver con la misma litológicamente; se infiere como perteneciente al Sin Orogénico.
- Las electrofacies relacionada con la Formación Vegas se denominará I, el Sin Orogénico la II, la Formación Carmita III, Morena IV, y Ronda +Cifuentes V.
- De los pozos Majaguillar 1 y 21 sólo se contó con el registro Estándar (de factura soviética), o sea, de resistividad, los valores de la sonda con arreglo normal y gradiente de 2.05 m, radiactivas gamma natural y neutrón gamma, el caliper y el potencial espontáneo (SP) sólo en el 1. En el caso del 2, 3 y Este 1, los registros fueron realizados por la Compañía Schlumberger; de resistividad, el laterolog somero (LLS), profundo (LLD) y el micro esférico (MSFL), las porosidades por neutrón (PhiN) y densidad (PhiD), SP, el gamma natural (SGR) y espectral (CGR), Contenido de Thorio y Potasio, el efecto fotoeléctrico (PEF) y Caliper.

Después de un detallado estudio se definen los siguientes reservorios y sellos a partir de las electrofacies:

En Vega Alta ( I ), considerada sello regional de Placetas se aprecian dos electrofacies:

- La (Ia), conglomerática, presente en todos los pozos, se le adjudica edad Eoceno Inferior- Medio con clastos del Cretácico.
- La (Ib), compuesta de caliza arcillosa, argilita y arcilla, clystone calcáreo; se data del Paleoceno Superior, resulta mejor sello.

Sinorogénico ( II ), se aprecian 5 electrofacies diferentes, cuatro de ellas se observan en los pozos inclinados 21 y 3, y la quinta, suigeneris, sólo en el 2, pozo vertical, debemos de aclarar que el pequeño espesor de Creta cortado en el Majaguillar Este 1, no fue registrado, por lo que no podemos definir a que grupo de las electrofacies definidas pertenece:

- La (IIa), Compuesta de cretas con cocolitos, se encuentra en los pozos 2, 3 y 21, en los tres pozos fue ensayado con buenos acumulados de petróleo.

- La (IIb), Según la litología son Mudstone calcáreo, impregnados. Buenos reservorios, se encuentra en los pozos 3 y 21.
- La (IIc), es el intervalo que presenta peores condiciones como reservorio dentro del sinorogénico, presente en los pozos 3 y 21.
- La (IId), es un intervalo con una litología muy mezclada, representada fundamentalmente por creta de cocolitos, mudstone calcáreo arcilloso, grainstone de peloides, calizas friables etc. es un buen reservorio, se encuentra en los pozos 3 y 21.
- La (Ile), solo se encuentra en el pozo 2, representada fundamentalmente por rodstone de intraclastos. Tuvo entrada de petróleo en varias zonas punzadas.

Carmita ( III ). Solo se encuentra en el pozo Majaguillar 2, con una litología de wackestone bioclástico impregnado, mudstone calcáreo, arcilloso, datado como Cretácico Inferior Aptiano Albiano. Las evidencias son que puede ser un reservorio moderado. En ensayo realizado en punzados selectivos, se obtuvo petróleo, aunque debemos de especificar que este resultado está unido a los intervalos ensayados en el sin orogénico y con la electrofacies IV.

Morena ( IV ), Fue atravesada por los pozos Majaguillar 1 y Majaguillar Este 1, litológicamente representada por mudstone y wackestone calcáreo arcilloso, fosilífero, impregnado, Biocalcarenita y calcilitita. La edad de núcleos y muestras corresponde al Cretácico Inferior Neocomiano. Sólo fue ensayada en el pozo 2, en donde se obtuvo petróleo.

Ronda + Cifuentes ( V ), corresponde por edad y litología con la Formación Ronda + Cifuentes, sin poderse diferenciar con precisión, sin embargo, de estudios anteriores donde quedaron definidas las electrofacies en los reservorios carbonatados de la Franja Norte de Crudos Pesados, si se pudieron relacionar con las mismas, a excepción de Majaguillar Este 1, donde no nos atrevemos a tomar partido por una u otra.

- La (Va), corresponde con la electrofacies de Ronda I. Esta secuencia es considerada como un seudo sello, pues en todas las pruebas de formación o ensayo realizado en la misma dio seco.
- La (Vb), aparece en los pozos Majaguillar 1 y 2, en el primero sobre todo está datado. Es la que corresponde con Ronda II, de las electrofacies del Neocomiano es la que mejores propiedades de reservorios posee. En ninguno de los pozos fue ensayada.
- La (Vc), muy bien definida como Ronda III, se corta en los pozos Majaguillar 1 y 2, es la que mayor % de pedernal tiene. Se realizó una Prueba de Formación en el Majaguillar 1, donde no se obtuvo entrada y otra a mayor profundidad, donde hubo manifestaciones de gas. Se considera reservorios fracturados de calidad moderada.
- La (Vd), Aunque por litología y paleontología no se ha podido delimitar con exactitud si la secuencia pertenece al Cretácico o al Jurásico, las Electrofacies se relacionan con Cifuentes. Se atravesó en el pozo Majaguillar 2.
- La (Ve), En este caso al igual que la litología y edad, no ha sido posible asociar estas electrofacies definidas (teniendo en cuenta pequeñas diferencias en los registros), con las establecidas anteriormente. Se encuentra presente en el pozo Majaguillar Este 1, con entrada de petróleo.

### **Consideraciones:**

- 1.- Fueron definidas cinco Electrofacies principales para la región de Majaguillar, las cuales están relacionadas con las formaciones principales. Han sido subdivididas a su vez teniendo en cuenta el comportamiento de los registros de pozo y a su vez asociadas con alguna que otra variación litofacial.
- 2.- De las Electrofacies definidas, resulta buen sello la Ib, la parte más arcillosa perteneciente a la Formación Vega Alta. Le sigue en orden de importancia la Ia, parte conglomerática de la misma Formación y Ronda I, la cuál se considera pseudo sello. En el Sin Orogénico la parte arcillosa de la IIc puede considerarse impermeable o pseudo sello también.
- 3.- Los mejores reservorios en esta área corresponden con la secuencia Sin Orogénico, desde la Ila hasta la ILe, excepto la IIc antes referida, las cuales han sido ensayadas con resultados satisfactorios. Pudiera resultar interesante con carácter secundario la Ronda II, aunque no fue ensayada en los pozos donde se cortó.

### **Constitución geológica de la zona de Majaguillar**

La zona de Majaguillar, tal y como se ha planteado con anterioridad por informes y datos de pozos, corresponde a una zona de desarrollo de las rocas del Paleomargen Continental de Bahamas, expresadas por la existencia de las Unidades Tectono – Estratigráficas (UTE) Placetas y Camajuaní formando un apilamiento producto a la ocurrencia en el tiempo de sucesiones de fallas de sobrecorrimiento, como consecuencia de los grandes esfuerzos compresivos a que fueron sometidas durante la orogenia y posteriormente llevadas a su posición actual por la acción de fallas transcurrentes las cuales tienen su expresión aún en el presente.

Este cinturón deformado y cabalgado se encuentra presente en toda la parte norte de Cuba de modo que Majaguillar se puede considerar como una prolongación hacia el este de las estructuras de la región de Varadero – Cárdenas y un poco más al sur las correspondientes a Cantel. Esto hace pensar que hacia Majaguillar y un poco más al sur se deben encontrar estilos de cabalgamientos similares a los de estas zonas, que pueden constituir yacimientos similares a los ya descubiertos y con reservas y producciones considerables, aunque a diferencia de Varadero con un desarrollo incipiente de sedimentos sinorogénicos con buenas propiedades como reservorios pero con mucha variabilidad, echo que hay que tener muy en cuenta para su posible desarrollo.

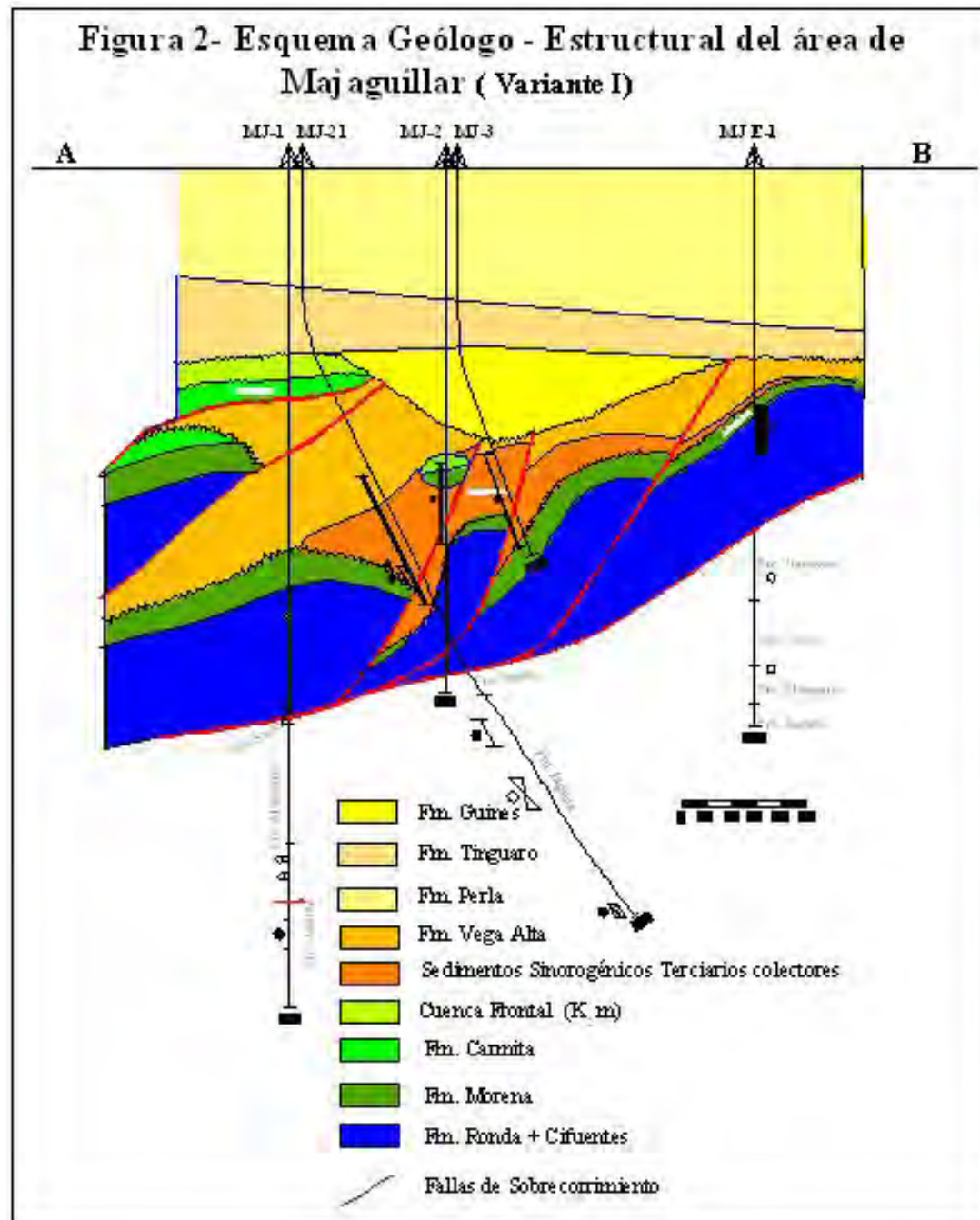
Desde éste punto de vista y utilizando los resultados de la estratigrafía conjuntamente con los de paleontología, la geofísica de pozo y los resultados de la adquisición sísmica realizada en los años 2003 y 2004 (Líneas SHE2003-02, SHE2004-407 y SHE2004-413) conjuntamente con la integración de los datos de los campos potenciales, se lograron confeccionar dos variantes de Modelos Geológicos para el área de Majaguillar (Fig. 2 y 3) en correspondencia con el estilo tectónico característico de la región y los ambientes de deposición de las diferentes secuencias formadas durante la orogenia.

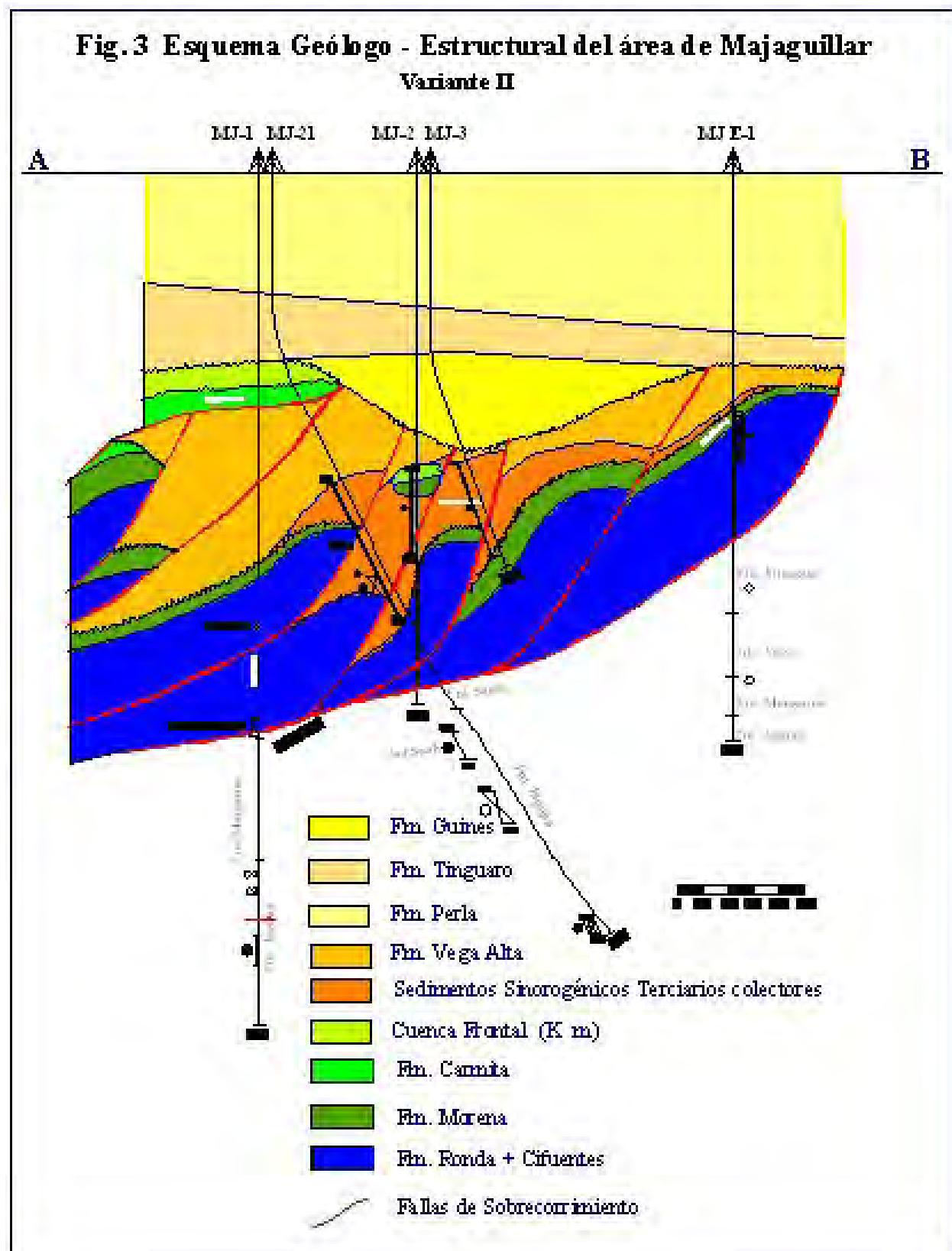
Además se confeccionó el mapa estructural por el tope del Grupo Veloz (Fig. 5) por ser éstas rocas las de mayor interés desde el punto de vista exploratorio en estos momentos en el área y ser las mejores productoras en Majaguillar y en el resto de los yacimientos del país.



En los modelos confeccionados se puede apreciar que el espesor transversal (perpendicular) de las escamas varía en tamaño y va desde unos 500 m como la atravesada por el MJ-21 hasta un poco más grandes como es el caso de la atravesada por el pozo MJ-1 que alcanza los 750 m aproximadamente, además mas al sur se aprecia el prospecto Antón que tiene gran importancia por tener una mejor posición estructural (más alto) de las rocas del Grupo Veloz, con respecto a las mismas en el Yacimiento Majaguillar. Es importante aclarar que aún no está clara la posición exacta ni de los flancos ni de la bóveda de las estructuras en ésta región, por cuanto los pozos ocupan un área muy reducida y su disposición no es tal que permita realizar interpretaciones más profundas al respecto.





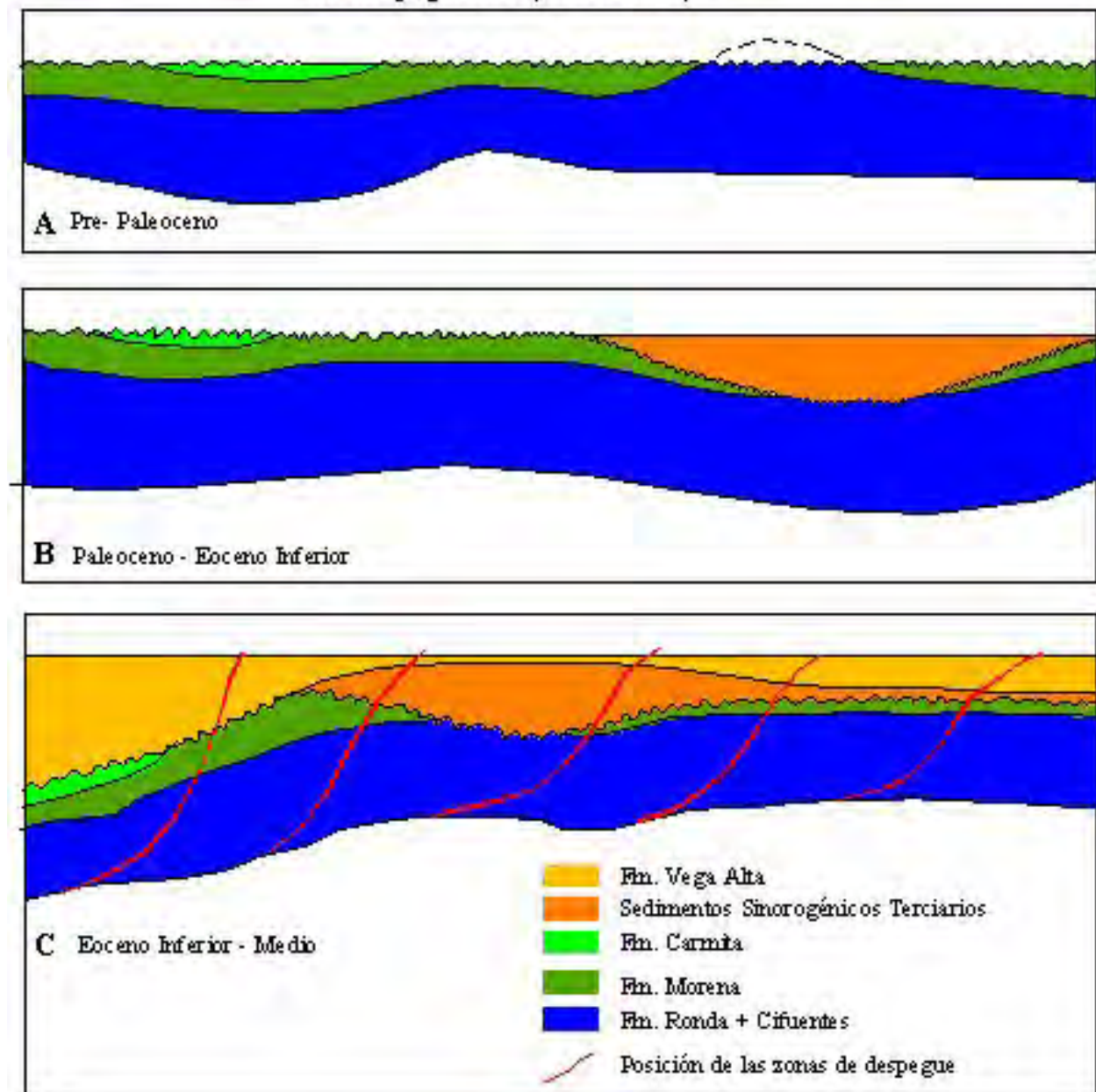


Para la construcción de dichos modelos se tuvieron en cuenta los espesores de rocas y las relaciones Margen Continental - Sedimentos Sinorogénicos determinadas en los pozos, lo cual sirvió además para realizar la reconstrucción geólogo – estructural del área y la construcción de los modelos lo más balanceados posibles (Fig. 4).

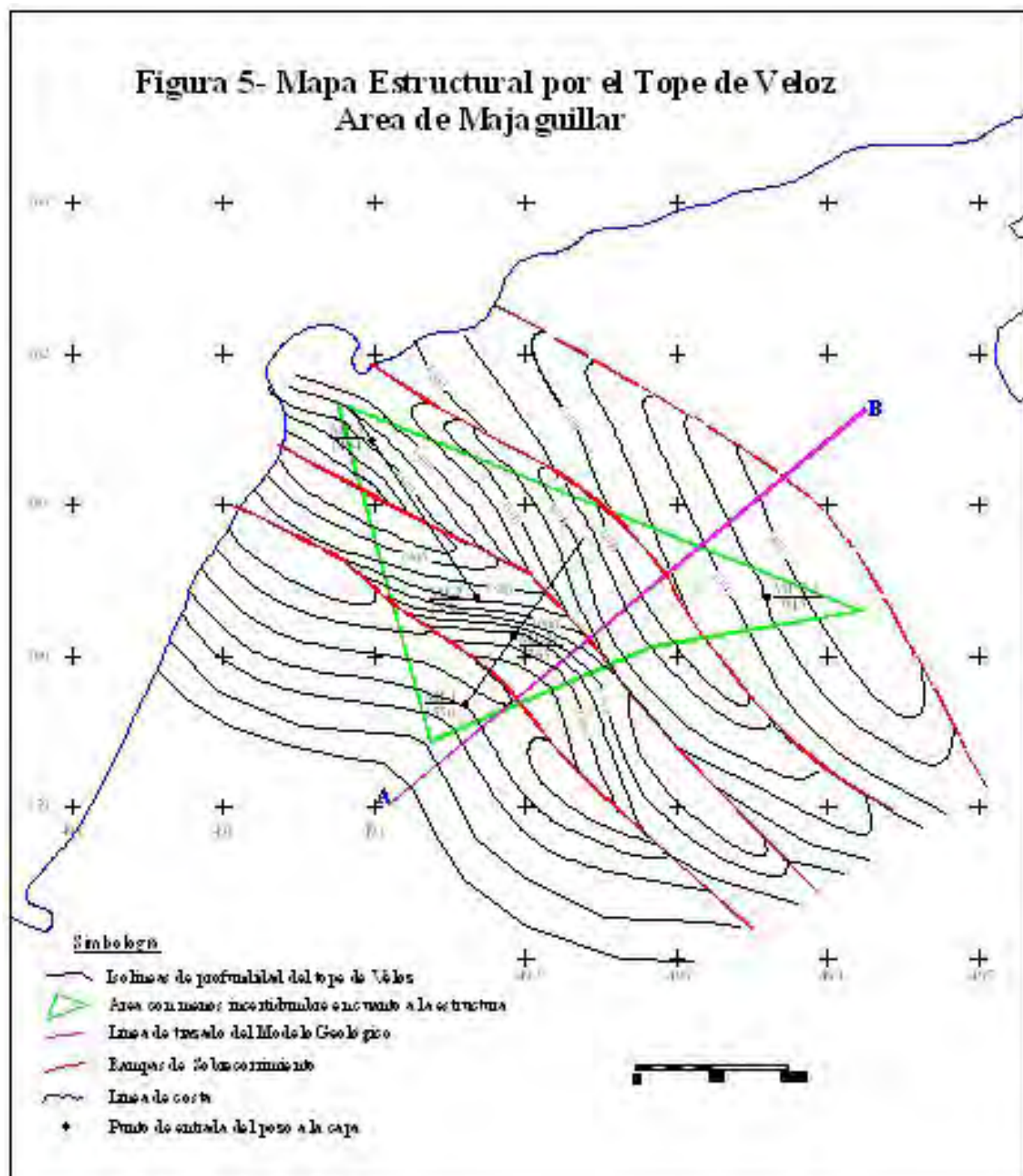
De la reconstrucción realizada se dedujeron los siguientes aspectos:

1. Durante el periodo comprendido entre el Jurásico Superior ( $J_3^{ox-th}$ ) hasta el Cretácico Inferior ( $K_2^l$ ) ocurrió la deposición normal de las secuencias del Paleomargen Continental Pasivo de Las Bahamas (UTE Placetas, Camajuaní, etc) sobre las rocas antiguas del Basamento Cristalino. En éste periodo predominaron los esfuerzos distensivos y por ende la existencia de fallamiento normal.
2. En el  $K_2^{cn-st}$  los esfuerzos comienzan a ser predominantemente compresivos y comienzan las deformaciones por plegamiento y el cese de la sedimentación casi de manera total en todo el Margen Continental, por cuanto no se han encontrado hasta el momento secuencias de ésta edad en la región.
3. La zona estuvo sometida durante el periodo  $K_2^{cp-m}$  bajo regímenes tectónicos tales que provocaron la acción de los procesos erosivos en el sector de Majaguillar (ver Fig. 4-A), debido a los levantamientos sucesivos experimentados en la zona que facilitó un importante desarrollo de dichos procesos. El nivel de erosión llegó en algunos sectores a las rocas más antiguas de lo que hoy se denomina Grupo Veloz dentro de la UTE Placetas tal como lo demuestra el pozo MJ-21 (directamente después de los sedimentos Sinorogénicos aparecen las rocas de Cifuentes) y en otros se preservaron secuencias más jóvenes como lo demuestra el pozo MJ-1 en el que se atravesó las rocas de la Fm. Carmita ( $K_2^{cn-l}$ ).
4. Durante todo el Paleoceno (posiblemente  $K_2^{ma}$  parte alta) continuó el fuerte plegamiento de las rocas como consecuencia de los nuevos pulsos de cabalgamientos que se sucedían en el tiempo, los cuales dieron lugar a la acumulación en una cuenca pequeña (aproximadamente 2.5 Km de ancho) de los sedimentos Sinorogénicos descritos en el presente informe y que constituyen reservorios en los Pozos MJ 21, MJ 2 y MJ 3 (Fig. 4-B). Tales sedimentos al ser depositados en un ambiente inestable trajo consigo que ocurrieran cambios bruscos en el ambiente de deposición de cada zona dentro de la propia cuenca y por consiguiente el desarrollo de variaciones faciales apreciables, así, en las zonas periféricas (más someras de las cuencas) se formaron facies con características diferentes a las que se acumularon en zonas más profundas.
5. Durante el Paleoceno Inferior - Eoceno Inferior a Medio continuaron las deformaciones, la acumulación del sello regional.
6. Al final de la orogenia ocurre el escamamiento, cabalgamiento y apilamiento de toda la secuencia, producto a la acción de las fallas de sobrecorrimiento (ver Fig. 4-C).
7. Al culminar la orogenia, cesan los cabalgamientos y se inicia una nueva fase en la que el papel fundamental lo juegan las fallas de desplazamiento laterales las cuales provocan el reacomodo de todo el complejo rocoso.

**Figura 4-Reconstrucción Geólogo-Estructural del área de Majaguillar (Variante I)**







## Conclusiones:

1. La constitución geológica es más complicada que la anteriormente considerada, estableciendo una nueva secuencia ("sinorogénico") que tiene gran peso en dicha complejidad y al parecer en el comportamiento productivo de los pozos, así tenemos que:
  - Solo, dentro del área del Majaguillar Este 1, los sedimentos y pliegues del Grupo Veloz están hipsometricamente elevados (Fig. 2 y 3). Existe la posibilidad de que dichos sedimentos y pliegues levanten en dirección noreste (Fig. 2, 3 y 5), lo que sería muy favorable para la continuación de los trabajos de perforación en el área.
  - La configuración de "antiformas" compuestas por los sedimentos sinorogénicos con una variabilidad considerable en la vertical y en la horizontal debido a variaciones faciales y repeticiones por fallas inversas, tornan en la práctica indescifrable, en el conjunto de rocas, su seguimiento y correlación.
2. Las dimensiones (ancho y amplitud) de los pliegues anticlinales contra falla inversa de los sedimentos del Grupo Veloz y el estilo tectónico de los mismos parecen ser semejantes a los de otras partes de la Franja Norte de Crudos Pesados. No es posible con la información disponible determinar la longitud de dichos pliegues, ni tampoco establecer en cuales condiciones estructurales se perforaran los pozos en el área (si en zona de bóveda, si en zona periclinal, si en zona de flanco), ni hacia que zonas (sectores), estarían las mejores condiciones estructurales.
3. Los datos de ensayo integrados con los estratigráficos, los de electrofacies y los estructurales indican que para el sector de los pozos 2, 3 y 21 son productivas básicamente, los sedimentos sinorogénicos, que tienen una gran variabilidad en sus propiedades de reservorios, lo que pudiese explicar el comportamiento productivo de dichos pozos y la caída considerable de las presiones de capa y de la producción en el mismo tiempo.
4. El comportamiento productivo de los pozos, considerando los reservorios que producen el petróleo y las condiciones estructurales de dichos reservorios y las del Grupo Veloz, permiten establecer preliminarmente que las condiciones y resultados para la producción de petróleo en el área estudiada, no son favorables, para el sostenimiento y desarrollo por el momento de la misma.

## REFERENCIAS

1. Fernández, J., Hernández, J., y otros, 2002. Análisis Facial del Bloque Central de Boca Jaruco. Etapa 1.
2. Simon Petroleum Technology Limited / Cupet (Edits.), 1993. the Geology and Hydrocarbon potential of the Republic of Cuba.
3. Fernández Carmona J y otros, 2002. "Comparación sedimentológica estratigráfico de la áreas de Puerto Escondido y Canasí". CEINPET.
4. Fernández Carmona J y otros, 2002. "Análisis facial del Bloque Central del Yacimiento Boca de Jaruco". CEINPET.
5. Suárez I. y otros, 2002. "Evaluación de las Reservas de Majaguillar". EPEP Centro; Departamento de Yacimientos.



6. Schlumberger, 1984. "Evaluación de Formaciones en México".
7. Registros en el Archivo del CEINPET:
  - Majaguillar 1 (File de pozo)
  - Majaguillar 21 (File de pozo)

## **AJUSTE DE POROSIDAD EFECTIVA. BLOQUE SUR DEL POZO CRISTALES 77, YACIMIENTO CRISTALES.**

**Odalys Reyes Paredes<sup>(1)</sup>, Maritza Rodríguez Viera<sup>(2)</sup>, Jorge S. Trujillo Rodríguez<sup>(3)</sup>**

**(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington 169 esq A Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba. ZIP 12000, e-mail: [oreyes@ceinpet.cupet.cu](mailto:oreyes@ceinpet.cupet.cu)**

**(2) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington 169 esq A Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba. ZIP 12000, e-mail [mrviera@ceinpet.cupet.cu](mailto:mrviera@ceinpet.cupet.cu)**

**(3) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington 169 esq A Churrucá, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba. ZIP 12000, e-mail [jorge@ceinpet.cupet.cu](mailto:jorge@ceinpet.cupet.cu)**

### **RESUMEN**

La confección del modelo estático del reservorio requiere de la selección cuidadosa de los parámetros que en él intervienen. Parámetros tales como la porosidad efectiva, fundamentalmente en reservorios vulcanógeno – sedimentarios, son altamente peligrosos dadas las dificultades que presentan en su cálculo. Los registros utilizados para el cálculo de dicho parámetro se encuentran calibrados en escala de caliza, aunque en la actualidad existen correcciones para llevarlos a escala de tobas (litología predominante).

En el caso de estudio que nos ocupa, predominan los registros eléctricos, el neutrón gamma, y solo en el caso de tres pozos, más recientemente han sido corridas herramientas de neutrón compensado y Gamma Espectral.

Son propuestos dos modelos de interpretación de la porosidad efectiva, a partir de las analogías existentes con un yacimiento cercano (Pina) y que cuenta con una mayor cantidad de información petrofísica.

Modelo 1: Porosidad efectiva determinada a partir de los métodos eléctricos.

Se calcula la porosidad abierta (todos aquellos poros comunicados) usando las diferentes variantes del modelo de Archie y esta a su vez es corregida por efectos de saturación de agua residual, determinada en los análisis de laboratorio para los núcleos que presentaban litología de tobas en todo el yacimiento Cristales.

Modelo 2: Porosidad efectiva determinada a partir de los métodos neutrónicos.

Se llevan las porosidades neutrónicas a escala de tobas, se hace corrección por efecto litológico (densidad), posteriormente se determina un coeficiente de corrección para estandarizar la porosidad determinada por el neutrón gamma con la determinada con el neutrón compensado haciéndose finalmente la corrección por volumen de arcilla.

La porosidad efectiva determinada por ambos modelos es comparada con la porosidad efectiva determinada en el laboratorio mostrando mejor coeficiente de correlación con la porosidad determinada en el modelo 1.

Como ambos modelos presentan algunas incertidumbres y nuestro interés es caracterizar la capa B, lo más detalladamente posible, se propone la corrida de ambos modelos en los simuladores numéricos de reservorio, con el objetivo de definir cuál modelo es más representativo a partir del ajuste histórico del campo.

### **ABSTRACT**

The confection of the reservoir static pattern requires of the careful parameter selection. Parameters as the effective porosity, fundamentally in volcanic - sedimentary reservoir are highly dangerous, their calculation have a lot of difficulty. For the porosity compute the log used are calibrated in limestone scale, but at the present time they have calculate the corrections to take them to volcanic (Tuff) scale, predominant lithology.

In our study case, prevail the electric log and the neutron gamma log and alone in three wells, recently have been run tools of compensated neutron and spectral Gamma.

Two interpretation effective porosity models are proposed, starting from the existent analogies with a near reservoir (Pina) who has a bigger petrophysic information.

Model 1: Effective porosity determined from the electric methods.

The open porosity is calculated (all those communicated pores) using the different variants of the Archie pattern and this is corrected by residual water saturation, determined in the core laboratory analyses.

Model 2: Effective porosity determined from the neutron methods.

The neutron porosity are taken to tuff scale, it is corrected by lithology effect (density), later one correction coefficient is determined to standardize the neutron gamma porosity with the compensated neutron porosity and finally it's corrected by shale volume.

The effective porosity that are determined by both models is compared with the effective porosity determined in the laboratory showing better correlation coefficient the porosity determined in the pattern 1.

As both models have some uncertainties and our interest is the layer B characterization, the both models will running in the reservoir numeric simulator, with the objective to define which model is more representative starting from the history match of the field.

## INTRODUCCIÓN

La confección del modelo estático del reservorio requiere de la selección cuidadosa de los parámetros que en el intervienen. Parámetros tales como la porosidad efectiva, fundamentalmente en reservorios vulcanógeno – sedimentarios, son altamente peligrosos dadas las dificultades que presentan en su cálculo.

En el año 1992 se llevó a cabo la “Metodología para la evaluación de las rocas vulcanógeno - sedimentarias” (aplicada al yacimiento Pina) donde se determinó la porosidad en un grupo de pozos claves (aquellos que tuviesen una información completa en cuanto a registros- núcleos) por diferentes Métodos y metodología:

- **Porosidad Abierta:** Se define como la porosidad conectada y es determinada por Métodos de Resistividad (considerando la resistividad de capa, la de agua, la invadida) tanto por el complejo S.E.L (Sondeo eléctrico lateral), Laterolog como Inducción (Conductividad), a partir de diferentes variantes del Modelo de Archie.
- **Porosidad Total:** Se define como la fracción del volumen total de la muestra ocupada por poros o huecos y es calculada partir del Método del Neutrón Gamma, Neutrón Compensado, Acústico y/o Densidad. A esta última se le hizo un estudio especial para lograr la corrección que por litología requería (ya que este equipo estaba calibrado para caliza).
- **Porosidad Efectiva:** La porosidad efectiva se define como aquella propiedad reservorio de la roca que condiciona la filtración del fluido en ella y cuantitativamente se determina como la relación del volumen de poros por los cuales puede ocurrir la filtración del liquido contra el volumen total de la roca<sup>(1)(2)</sup>. De manera que el concepto de porosidad efectiva engloba en si mismo a la porosidad abierta y a la saturación de fluidos móviles, ya que son aquellos poros saturados de fluidos móviles que están comunicados entre si y que permiten el paso del estos por ellos. La Porosidad efectiva se calcula a partir de la determinada de los Métodos Neutrónicos y Densidad corregida por arcillosidad, combinados como se recomienda en la literatura en este tipo de reservorios muy alterados a arcillas; también la determinada en el Laboratorio como:  $\emptyset \text{ efectiva} = (1 - S_{\text{agua residual}}/100)$ .

En aquella ocasión se estableció la correlación entre cada uno de los modelos de porosidad establecidos con los valores de porosidad determinados en el laboratorio e incluso entre ellas para conocer su relación y se obtuvo como resultado los mayores coeficientes de correlación en la  $\emptyset$  efectiva determinada a partir de la combinación neutrón – densidad antes mencionada (0,770923) y con la porosidad abierta (0,75973), obteniéndose un coeficiente de correlación entre la efectiva y la abierta de 0,92453.

Otro valor que se expuso en dicho trabajo y que es menester mencionar es el promedio de la porosidad efectiva 5.8 %, la que estaba comprendida entre 2.26 a 10.02 lo que representaba aproximadamente el 43 % de la porosidad total.

Debido a la escasa información petrofísica en el bloque sur de cristales, caso que nos concierne, además de lo anteriormente expuesto, nos damos a la tarea de hacer una búsqueda bibliografía (vía Internet) con el objetivo de establecer analogías de dichos parámetros con los obtenidos en otros reservorios, no cubanos y con características similares que tecnológicamente cuentan con más información. Generalmente la información encontrada no hace referencia a valores numéricos, esclareciendo que cuando son reservorios vulcanógeno – sedimentarios fracturados las mismas son bajas.

Lo anterior demuestra que aun nos encontramos en una etapa primaria en la evaluación de volcánicos fracturados, tanto en Cuba como en el resto del mundo y que la cercanía a los probables parámetros efectivos del reservorio solo pueden ser comparados con sus resultados productivos.

De modo que en el presente trabajo serán usados dos modelos de interpretación

Modelo 1: Porosidad efectiva determinada a partir de los métodos eléctricos.

Se calcula la porosidad abierta (todos aquellos poros comunicados) usando las diferentes variantes del modelo de Archie y esta a su vez es corregida por efectos de saturación de agua residual, determinada en los análisis de laboratorio para los núcleos que presentaban litología de tobas en todo el yacimiento Cristales.

Modelo 2: Porosidad efectiva determinada a partir de los métodos neutrónicos.

- Se llevan las porosidades neutrónicas a escala de tobas.
- Se hace corrección por efecto litológico(densidad).
- Posteriormente se corrige la porosidad determinada por el neutrón gamma con la determinada con el neutrón compensado.
- Por ultimo se hace la corrección por volumen de arcilla.

## **EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE POROSIDADES USANDO NUEVAS HERRAMIENTAS.**

En el caso que nos compete del Bloque Sur del yacimiento Cristales, aunque la litología no es exactamente igual (abundan más los conglomerados tobáceos), si responde en su concepto genérico (vulcanógeno – sedimentario) por lo que nos permite establecer analogías en el tratamiento de evaluación en este tipo de reservorio.

Para la correcta evaluación de la porosidad efectiva en este bloque y los límites de producción se programó pasar un complejo especial en 3 pozos del yacimiento compuestos por los registros SGR – CGR (espectral) y Neutrón Compensado. Esto sólo permitió determinar la porosidad efectiva ( $\emptyset$  efectiva) utilizando la corrección por arcillosidad (CGR) y litológica

(programa PORTOB), pero no se pudo establecer la combinación con la Densidad, como se hizo en el yacimiento Pina, al no pasarse este método.

En los pozos del bloque predominan los registros Neutrón Gamma (PNG) por lo cual se establece la comparación (en el pozo Cristales 153, por ser el único que posee ambos métodos) entre la porosidad del Neutrón compensada (NPHI) y la determinada a partir del Neutrón Gamma ya existente, se nota que presentan un coeficiente de correlación de 0.73.

**Tabla I Comparación de la porosidad neutrón compensada (NPHI) con la porosidad Neutrón Gamma en el pozo Cristales 153.**

	NPHI	PNG
NPHI	1	
PNG	0.72963057	1

La comparación Gráfica (Figura 1) entre ambas curvas evidencia cuan diferente es la respuesta

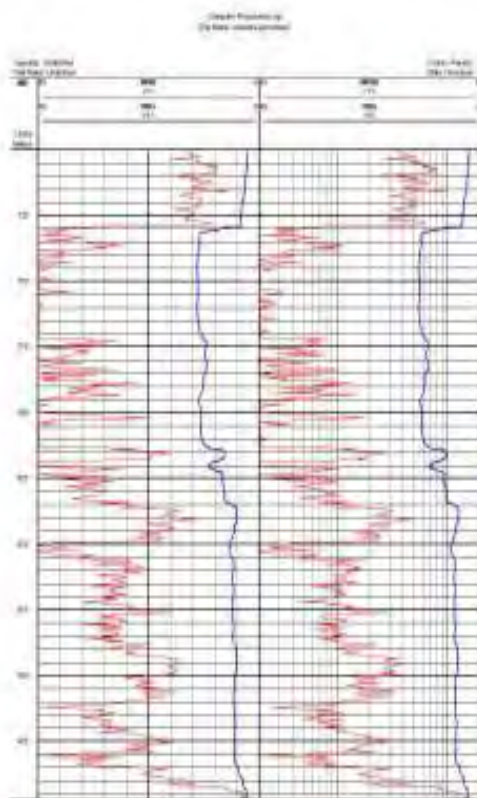


Figura 1 Comparación gráfica entre la porosidad determinada a partir de la herramienta neutrón gamma (PNG) y las porosidades determinadas usando la herramienta neutrón compensado (NPHI, NPOR)

numérica de una respecto a la otra aunque conservan su comportamiento (o sea cualitativamente no difieren). Vale la pena destacar que la calidad de los registros Neutrón Gamma (en azul) dista grandemente de la calidad de Neutrón compensado (en Rojo).

La varianza de las curvas 71% para el caso de NPHI (Porosidad del neutrón compensado) y 0.48% para el caso de PNG (porosidad del neutrón gamma), muestra la poca variabilidad en los datos de PNG, haciendo de la misma una curva mas suave. El coeficiente de variación entre ambas curvas es de 73% y una medida de la variabilidad entre ellas está dada por una desviación estándar de 10.7. Como anteriormente se expone, al no existir una misma herramienta de registro para todo el bloque se hace necesario homogeneizar los valores de porosidad neutrónica para lo cual se establece la dependencia lineal (Figura 2) de ambas curvas, presentando un bajo coeficiente de ajuste (0.53) a la tendencia lineal, aun así se hace el ajuste de la PNG.

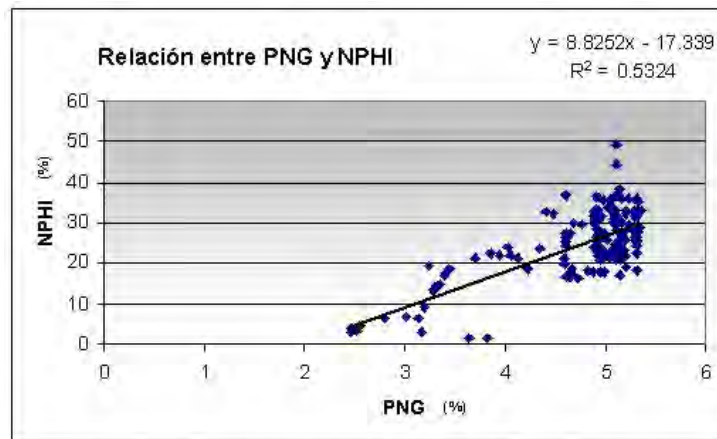


Figura 2: Dependencia lineal entre las curvas de porosidad (PNG y NPHI)

Una vez corregida la misma se realiza la corrección por concepto litológico (Densidad) donde se propuso aplicar un “coeficiente  $\Delta$ ” establecido de la relación entre la porosidad total y la efectiva. Para efectuar la misma son usados pozos análogos del Yacimiento Pina y que cuentan con Registros neutrónicos y de densidad (Tabla II).

Tabla II Cálculo del coeficiente  $\Delta$

POZO	$\Phi$ total (%)	$\Phi$ efectiva (%)	$\Delta$
Pina 2	30.83	20.97	9.86
Pina 22	19.26	17.94	1.32
Pina 23	19.2	9.86	9.34
Pina 24	29.7	15.68	14.02
Pina 26	28.12	22.23	5.89
TOTAL:			<b>8.09</b>

De esta forma es aplicando el  $\Delta$  para Cristales (para los pozos Cristales 77, 126 y 153) podemos decir que la porosidad efectiva promedio de la Capa B es:  
 $\Phi$  efectiva = 6.57%

Tabla III: Porosidad efectiva considerando tres pozos (Cristales 77, 126 y 153)

CAPA	Porosidad ( $\Phi$ ) corregida	Porosidad ( $\Phi$ ) efectiva
B-1	18.54	10.45
B-2	14.45	6.36
B-3	13.94	5.85
B-4	11.74	3.65

Esta misma corrección fue aplicada en seis pozos (Cristales 46, 47, 100c, 126, 127 y 153) con registros neutrónicos obteniéndose los siguientes resultados:



**Tabla IV:** Porosidad efectiva considerando seis pozos (Cristales 46, 47, 100c, 126, 127 y 153)

CAPA	Porosidad ( $\Phi$ ) corregida	Porosidad ( $\Phi$ ) efectiva
B-1	13	9.1
B-2	10	8.12
B-3	10	7.99
B-4	9	6.1

Para lo cual la porosidad efectiva promedio de la Capa B es:  $\Phi$  efectiva = 7.8 %

El calculo de estos parámetros es analizado detalladamente en cada capa mostrando para las capas B1, B2+B3 y B4 una gran dispersión para los valores de Porosidad (modelo 2,  $P_{corr}$ ,  $P_{c-Vsh}$ ), mientras que los valores de Porosidad (Modelo 1,  $P_a$ ,  $P_{eft}(-Swr)$ ) tienden a agruparse con la excepción del pozo Cristales-47. Como se pueden observar en los gráficos a continuación (Figura 3):

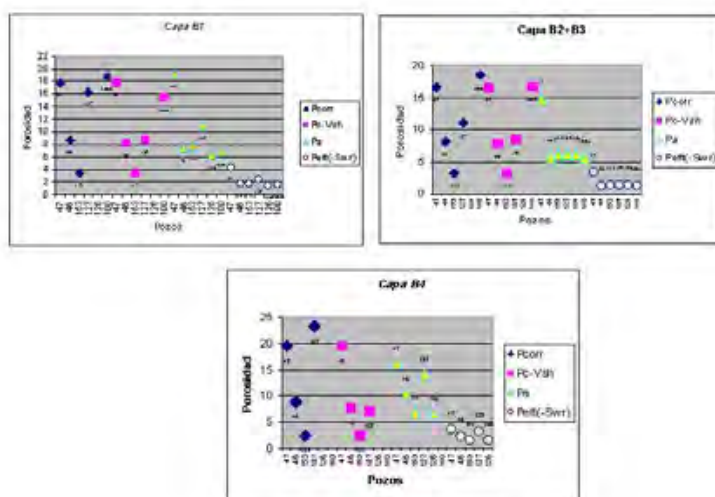


Figura 3: Gráficos de dispersión de las diferentes capas

El estudio de correlación entre la porosidad efectiva determinada en el laboratorio y la porosidad efectiva determinada en los modelos propuestos arroja los siguientes valores.

**Tabla V:** Coeficiente de correlación entre porosidad efectiva determinada a partir de registros ( $P_{eft}$ ) y porosidad efectiva determinada en el laboratorio ( $P_{eft\ lab}$ ), Modelo 1.

	<b><math>P_{eft\ lab}</math></b>	<b><math>P_{eft}</math></b>
<b><math>P_{eft\ lab}</math></b>	1	
<b><math>P_{eft}</math></b>	<b>0.989393412</b>	1

**Tabla VI:** Coeficiente de correlación entre porosidad efectiva determinada a partir de registros ( $P_{eft}$ ) y porosidad efectiva determinada en el laboratorio ( $P_{eft\ lab}$ ), Modelo 2.

	<b><math>P_{eft}</math></b>	<b><math>P_{eft\ lab}</math></b>
<b><math>P_{eft}</math></b>	1	

<b>Peft lab</b>	<b>-0.17897669</b>	<b>1</b>
-----------------	--------------------	----------

**Tabla VII** Resultados de los valores promedios de porosidad abierta y efectiva.

Capa	Pa	Peft
B1	8.8	2.0
B2	8.3	1.9
B3	7.9	1.8
B4	7.6	1.7

De esta forma la porosidad efectiva promedio de la capa B, determinada a partir del modelo 1 (usando la saturación de agua residual determinada en Laboratorio de Petrofísica, CEINPET) sería  $\Phi$  efectiva = 1.82 %.

## LÍMITES PRODUCTIVOS PARA AMBOS MODELOS

Se hace el análisis de los intervalos ensayados y sus resultados, concluyendo que para:

### MODELO (1)

Existe producción de petróleo y gas en las capas B2 y B3 entre los valores de porosidad efectiva de 1.3 y 3 %, por debajo de 1.3% los resultados de los ensayos se declaran como secos al igual que por encima de 3.1%, con la excepción del pozo Cristales 47 que presenta entrada de petróleo entre 3.3 % y 3.9 %, este pozo presenta un comportamiento anómalo respecto a los restantes pozos, pero no contamos con análisis litológico del mismo.

En el caso de la capa B4 no se pueden establecer con claridad los límites de porosidad debido a que los intervalos ensayados incluyen zonas arcillosas y generalmente más dañadas.

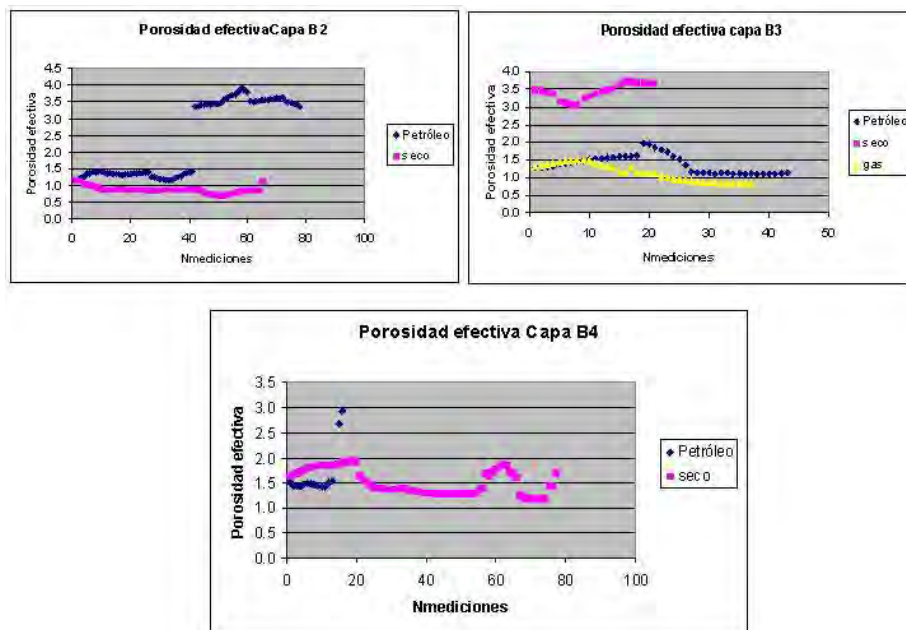


Figura 4 Límites de porosidad por capas, modelo 1

## MODELO (2)

En las capas B2 y B3 existe producción de petróleo y/o gas entre las porosidades de 6 y 11.7 %, por debajo del 6% de porosidad podemos encontrar intervalos secos o con producción de gas.

En B4 no fue posible establecer criterios de límites al no contarse con resultados de ensayo diferentes a la entrada de petróleo en dicha capa.

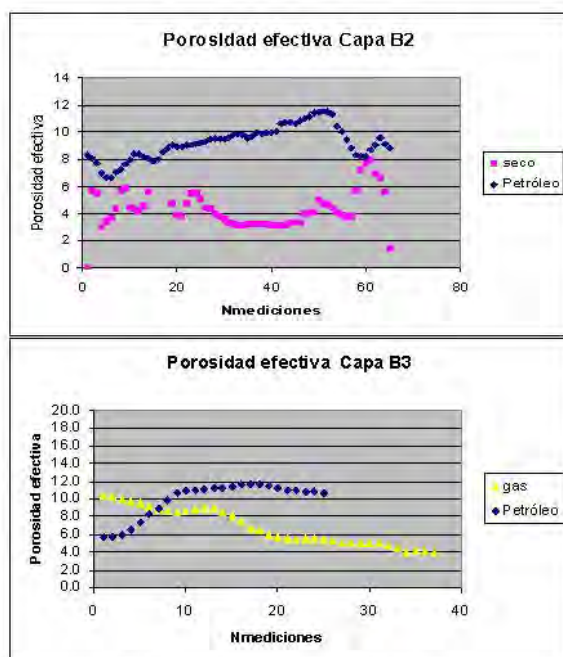


Figura 5 Límites de porosidad por capas, modelo 2

Vale la pena destacar que estos resultados son de baja confiabilidad dado a que las zonas ensayadas en la mayoría de las situaciones no representan los intervalos con mejores características de reservorio, (en muchas ocasiones son abiertas al mismo tiempo zonas arcillosas o con malas características colectoras) así como generalmente el daño que presenta la formación puede enmascarar los resultados.

Ambos modelos presentan un alto grado de incertidumbre dada la escasa información existente y la baja calidad de los registros, por lo cual se hace necesario la corrida de ambos en el simulador numérico de reservorios, donde se pretende definir cual modelo es mas representativo a partir del ajuste histórico del campo durante la simulación por depleción natural.

Se confeccionan dos modelos estáticos para un Reservorio de doble porosidad (matriz-fractura) los que serán corridos en el simulador numérico de reservorios (CMG) para lo cual se utilizan mapas de espesores efectivos, porosidades efectivas, modelo geológico del área y el estudio de fracturación disponible de acuerdo a la información existente, así como datos de permeabilidad relativa y absoluta.

Se logra realizar el ajuste de los datos productivos y de presión de capa del yacimiento solo para el modelo 1 como se puede ver en la Figura 6.

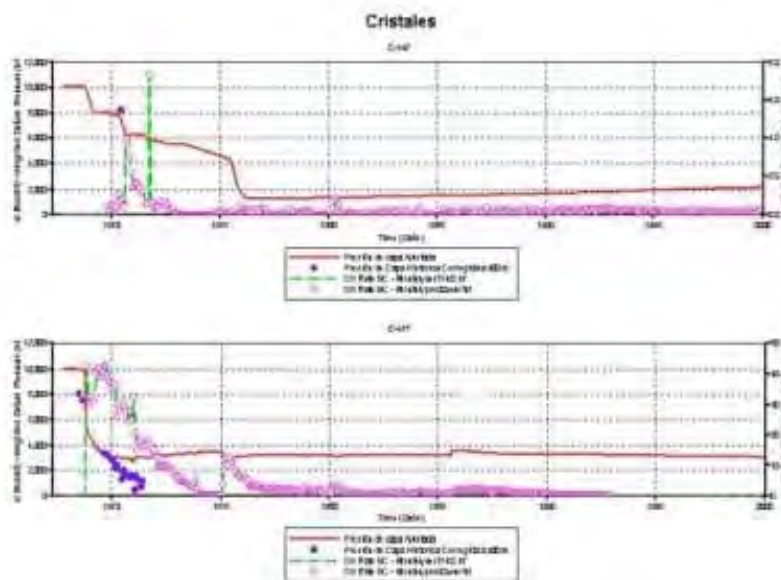


Figura 6: Ajuste histórico de producción y presiones de capa. Yacimiento Cristales.

Observándose que el ajuste histórico establece dos etapas:

- La primera esta representada por niveles productivos relativamente altos con altas caídas de presiones de capa, la misma dura alrededor de 1,5 años. Este comportamiento esta influenciado por el tipo de colector (fracturado-poroso). En este tipo de colector existe una gran diferencia entre la permeabilidad de las fracturas y la de matriz. En esta primera etapa existe aporte solo del petróleo que se encuentra en las fracturas hasta tanto la diferencia de presión entre las fracturas y la matriz no sea lo suficientemente alta que le permita al petróleo salir de esta ultima. El aumento de esta diferencia de presión entre las fracturas y la matriz, unido a la baja permeabilidad vertical del campo provoca un descenso en la presión de capa del bloque y por tanto un incremento en la RGP; es por esta razón, que las presiones de capa y la producción caen bruscamente en el yacimiento durante esta etapa.
- La segunda etapa esta caracterizada por bajas presiones de fondo y poca productividad. Este comportamiento es causa de la etapa anterior. En ella el yacimiento se comporta como un colector poroso de baja permeabilidad donde las fracturas solo tienen la función de comunicar el petróleo producido en la matriz al pozo. Además de estas razones se ha demostrado en diferentes pozos del yacimiento Cristales que este presenta problemas con la precipitación de asfáltenos, éstos pueden estar interrumpiendo la comunicación entre la matriz y las fracturas o de las fracturas al pozo.

## CONCLUSIONES

- Existe un buen coeficiente de correlación (99%) entre la porosidad efectiva determinada a partir del modelo 1 y la porosidad efectiva de laboratorio.
- Las porosidades efectivas determinadas a partir del modelo 2 no tienen buena correlación con las determinadas en el laboratorio.
- Aunque se calcula un coeficiente de ajuste para los efectos litológicos establecido a partir de los resultados en un Yacimiento con características similares, se hace necesario la ejecución de un registro de densidad en aquellos pozos que presentan neutrón compensado.
- En este caso dado la gran incertidumbre que presentan las propiedades petrofísicas determinadas a partir de registros y a la baja calidad de la información primaria, es necesario hacer un trabajo de ajuste de ambos modelos con los datos productivos del campo, proponiéndose para esto el uso de los simuladores numéricos de reservorios de Computer Modelling Group LTD(CMG), lográndose solamente este ajuste para el modelo 1, lo que confirma las bajas porosidades efectivas existentes en el corte, consecuentes con un Reservoirio fracturado con escasa porosidad de matriz.
- Los dos modelos propuestos presentan valores de porosidad acordes con los valores teóricos establecidos para reservorios con desarrollo de porosidad secundaria.
- Fue posible establecer límites productivos para los dos modelos de porosidad, con la excepción de la Capa B4, quien por las características de las zonas ensayadas no permite definir los mismos.
- La búsqueda bibliográfica realizada muestra que se necesita de información de registros, tecnológicamente fuera de nuestro alcance, para la evaluación de la porosidad efectiva de este tipo de reservorio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Chernikov k.A., et. Al, 1988, Diccionario geológico de petróleo y gas. Editorial Niedra. Moscú:420p
- Dewan J.T., 1983. Essentials of Modern Open – Hole log interpretation. PennWell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma:361p
- Gittins, J., 1994. Fundamentals and Practical approach to formation evaluation, Cuba:230p
- Mérida M., A.F. Díaz., et. Al, Proyecto 3405 “Método alternativo para la recuperación mejorada bloque sur del área del pozo cristales 77”, Etapa 1, Estudio de Prefactibilidad Geólogo – Productiva.
- Rodríguez M., 1992. Metodología para la evaluación de las rocas vulcanógeno - sedimentarias”. Archivo técnico, CEINPET.
- Schlumberger, Principios/ Aplicaciones de la interpretación de registros: Schlumberger Educational Services, 198p.
- Stasienkova B.B., Gutman I.C., 1989. Calculo de Reservas de petróleo, gas, condensado y de los componentes contenidos en el, Editorial Niedra. Moscú:315p.
- CMG, IMEX, Advanced Oil/ Gas Reservoir Simulator, Version 2003, User’s Guide.



## MOJABILIDAD DE LAS ROCAS CARBONATADAS DE LA FORMACIÓN CIFUENTES DE YACIMIENTOS CUBANOS Y SU IMPORTANCIA.

**Amalia Quesada Quintero<sup>(1)</sup>, Ariel F. Díaz Sanabria <sup>(2)</sup>, Juan A. Rodríguez-Loeches<sup>(3)</sup>, Felix S. Echevarria Pestana<sup>(4)</sup>**

(1) Ceinpet, Washington N.º 169 ESQ. A Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, C..Eléct [amalia@ceinpet.inf.cu](mailto:amalia@ceinpet.inf.cu)

(2) Ceinpet, Washington N.º 169 ESQ. A Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, C..Eléct [ariel@ceinpet.inf.cu](mailto:ariel@ceinpet.inf.cu)

(3) Ceinpet, Washington N.º 169 ESQ. A Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, C..Eléct [loeches@ceinpet.inf.cu](mailto:loeches@ceinpet.inf.cu)

(4) Ceinpet, Washington N.º 169 ESQ. A Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, C..Eléct [echevarria@ceinpet.inf.cu](mailto:echevarria@ceinpet.inf.cu)

### RESUMEN

Los yacimientos petrolíferos en rocas carbonatadas de la franja norte cubana, están en principio asociados a la formación Cifuentes, donde los reservorios presentes por lo general poseen un bajo recobro de petróleo, por métodos convencionales, a consecuencia de la naturaleza del petróleo pesado y extra pesado, alta viscosidad, proporción de azufre y asfaltenos por una parte y complejidades geológicas de yacencia y propiedades físicas de las rocas por la otra, lo que exige la determinación de métodos que incrementen la recuperación de petróleo.

Los trabajos que incrementan la producción, ya sean estimulaciones a pozos o estudios de recuperación mejorada de petróleo, demandan de una caracterización cabal del reservorio, por tal motivo es imprescindible evaluar la mojabilidad de las rocas por la importancia que reviste.

En nuestros laboratorios se determina el carácter mojable de los reservorios mediante la aplicación de un conjunto de técnicas: de presión capilar por plato poroso, medición de ángulos de contacto, método de la botella, saturación de agua residual por Dean Stark.

Como resultado fundamental se pudo conocer la preferencia de las rocas carbonatadas de la formación Cifuentes de ser mojadas por petróleo.

### ABSTRACT

The oil reservoir in carbonated rocks of the Cuban north band, are in principle associated to the Formation Cifuentes, where the present reservoirs in general possess a low content of petroleum, for conventional methods, as a consequence of the nature of the heavy and extra heavy, high viscosity, proportion of sulfur and asphaltenes on one hand and geologic bedding complexities and physical states of the rocks for the other one, which demands the determination of methods that increase the recovery of petroleum.

The works that increase the production, be already stimulations to wells or studies of enhanced recovery of petroleum, they demand an exact characterization of the reservoir, for such a reason it is indispensable to evaluate the wettability of the rocks for the importance that it presents.

In our laboratories the wettability character of the reservoirs is determined for example by means of the application of a group of technical: capillary pressure for porous plate, measurement of contact angles, method of the bottle, saturation of residual water by Dean Stark.

As result fundamental one could meet the preference of the carbonated rocks of the Formation Cifuentes of being wet by petroleum.

## INTRODUCCION

La mojabilidad es una propiedad importante cuando se caracteriza un yacimiento (Donalson, E.C 1969), pues juega un papel fundamental para la determinación del grado de recuperación de petróleo mediante desplazamiento con agua y en muchos otros procesos de interés industrial (Cuiec.L, 1984, Lorenz, P.B 1974), conocer las características de las rocas cuando los fluidos están fluyendo nos permite contar con nuevos resultados e información para la optimización de la explotación de los yacimientos actualmente en desarrollo y en explotación y para la fundamentación de una propuesta futura del empleo de algún método de recuperación mejorada en el cual se utilicen aditivos que posean la propiedad de transformar la mojabilidad de las rocas carbonatadas presentes en el yacimiento.

La mojabilidad se define como la tendencia de un fluido de esparcirse o adherirse a una superficie sólida en presencia de otro fluido inmiscible (Araujo.Y.C, 1998).

En un yacimiento de petróleo, la mojabilidad es una medida de la afinidad de la superficie de la roca por la fase petróleo o por la fase acuosa.

La mojabilidad obtenida a partir de estudios petrofísicos de laboratorio de las rocas mediante la prueba de permeabilidad relativa constituye una herramienta efectiva, pero no contamos con mediciones de este tipo.

La característica de mojado de una superficie mineral, depende de la composición química del crudo, presión, temperatura, naturaleza de las paredes de los poros de la roca, química del agua (Concentración, pH, presencia de iones) y la presencia de componentes activos en la superficie.

En los yacimientos petrolíferos de rocas carbonatadas asociados a la formación Cifuentes donde el recobro de petróleo es bajo por métodos convencionales se hace necesario la utilización de métodos que incrementen la recuperación de petróleo, ya sea estimulación a pozos o recuperación mejorada para lo cual se tiene que caracterizar el yacimiento, siendo por tal motivo imprescindible por la importancia que reviste, la evaluación de la mojabilidad.

Los estudios realizados en esta temática en los laboratorios del Ceinpet constituyen un aporte importante para nuestra actividad petrolera, ya que han podido potenciar el conocimiento sobre las características de nuestros yacimientos petrolíferos y posteriormente realizar estudios de simulación física y numérica con mayor calidad y confiabilidad.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la mojabilidad de yacimientos de rocas carbonatadas de la formación Cifuentes por diferentes métodos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación de la mojabilidad se utilizaron los siguientes métodos:

- El método de la botella (Bottle Test). Este método evalúa el poder humectante para un sistema de petróleo-salmuera y mineral dado (Dubey.S.T, 1991)
- La técnica de Dean Stark en la variante Rusa para muestras de grandes dimensiones (Zacks) establece la saturación de agua residual.
- Método de plato poroso convencional.

Para las medidas simultáneas de Presión Capilar ( $P_c$ ) se utilizó el método del plato poroso (Araujo. Y.C, 1998) para determinar las curvas de presión capilar y los valores de resistencia de las muestras, en función de la saturación de agua de formación. En este método se

aplica una diferencia de presión sobre las fases que coexisten en la muestra (aire-agua), manteniendo el contacto entre la muestra y una membrana o plato poroso permeable a la fase mojante. La presión capilar es balanceada por la diferencia de presión estática entre los fluidos. El equipo para las medidas de presión capilar (Figura 1)

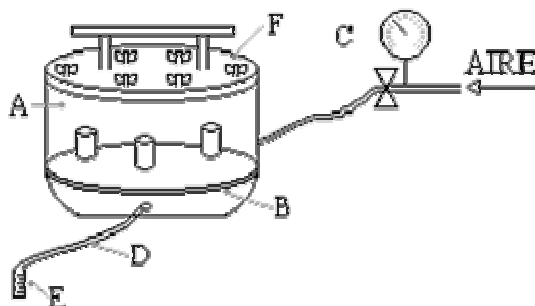


Figura 1. Esquema del Plato Poroso para las pruebas de Presión Capilar y Medidas Eléctricas.

- Método de medidas de ángulos de contacto, se realizó por el procedimiento descrito por (Wagner.O.R, 1985)

Se utilizaron muestras de petróleo, aguas y rocas de la formación Cifuentes correspondientes a los yacimientos de Boca de Jaruco, Varadero y Puerto Escondido.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El método de la botella es un método cualitativo, en el cual se evalúa el poder humectante para un sistema de petróleo-agua de capa y roca, tomando diferentes muestras de los yacimientos estudiados, los resultados se muestran en la tabla # I.

Al evaluar diferentes muestras del yacimiento Boca de Jaruco se puede observar un comportamiento similar entre las mismas, donde no se manifiesta un desprendimiento significativo de petróleo y la formación se mantiene sucia y más bien impregnada del mismo.

Para el yacimiento Varadero tenemos como resultado que la formación se mantiene impregnada de petróleo, sin observarse desprendimiento del mismo.

En el caso del yacimiento Puerto Escondido también se observa un comportamiento similar al manifestado en los otros yacimientos analizados anteriormente, al mantenerse la arena sucia por estar impregnada de petróleo.

Estos resultados indican que las rocas carbonatadas de los yacimientos antes evaluados presentan preferencia a ser mojadas por petróleo.

También a partir de las relaciones de saturación de agua y petróleo residual con la porosidad y la presión capilar se puede establecer un análisis cualitativo de la Mojabilidad del yacimiento.

En el laboratorio se lograron realizar estudios de presión capilar por plato poroso a muestras de rocas de la formación Cifuentes, de los yacimientos Boca de Jaruco, Puerto Escondido y Varadero. Las curvas de presión capilar se muestran en las figuras 2, 3 y 4.

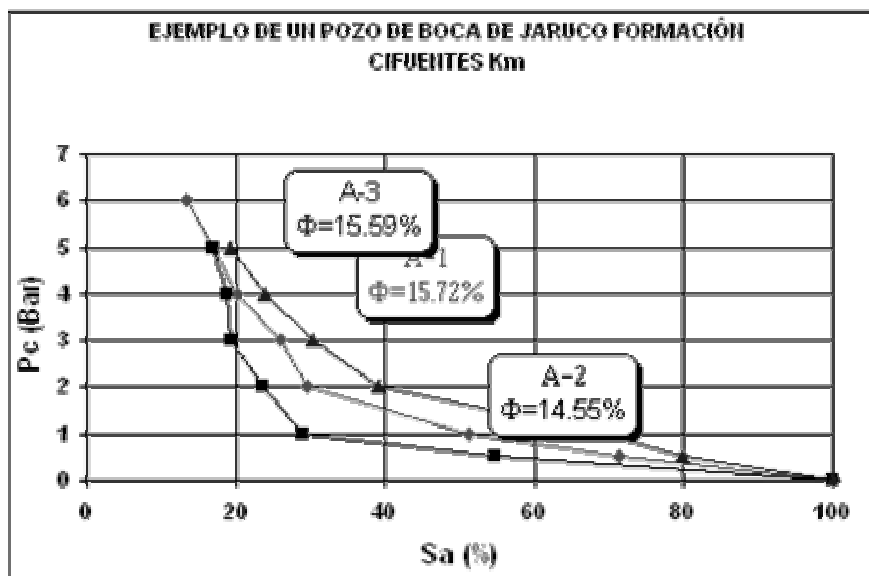


Figura 2. Curvas de presión capilar en función de la saturación de agua residual de un pozo de Boca de Jaruco.

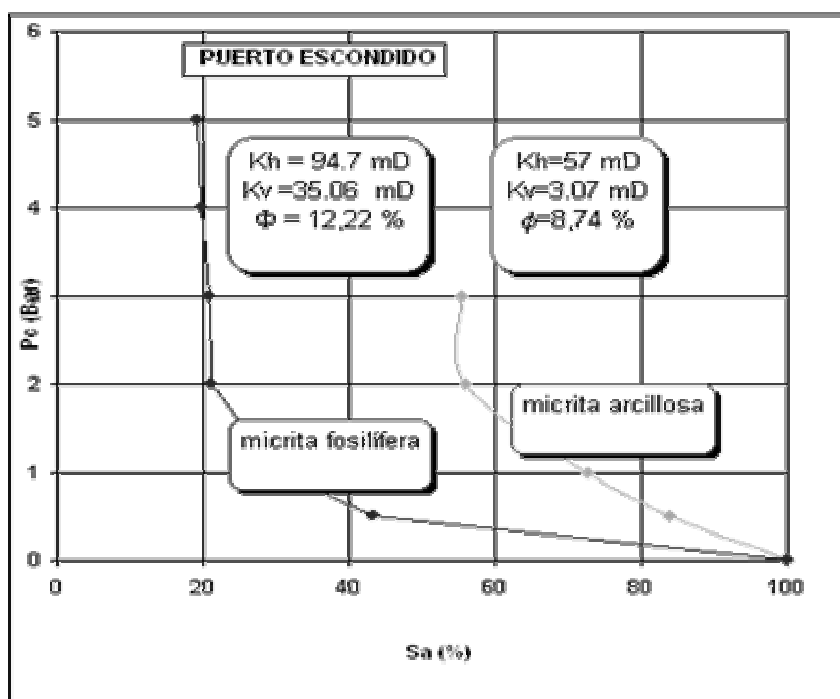


Figura 3. Curvas de presión capilar en función de la saturación de agua residual de un pozo de Puerto Escondido.

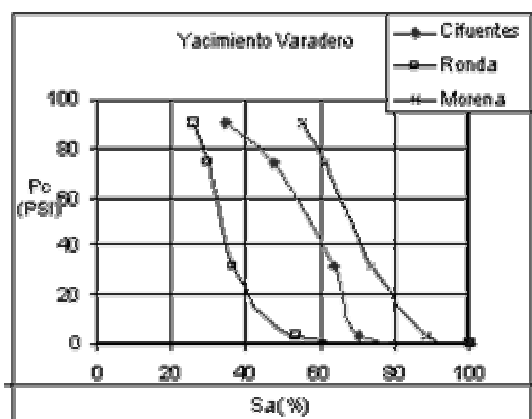


Figura 4. Curvas de presión capilar en función de la saturación de agua residual para el Yacimiento Varadero.

La saturación de agua residual establecida mediante las características capilares para diferentes formaciones del Yacimiento Varadero, que se muestran en la figura 4, se presentan con valores entre 55 y 25 %, en muestras con bajo contenido arcilloso, permeabilidades entre 5 y 15 mD y porosidades entre 8 y 14%. En estos carbonatos predomina la meso y macro porosidad (diámetros mayores de 0.5 micras).

A partir del método directo empleando la técnica de Dean Stark para muestras de grandes dimensiones (Zacks), se estableció la saturación de agua residual, mostrándose en la Figura 5 algunos ejemplos para el Yacimiento Boca de Jaruco. En estos yacimientos han sido cortados núcleos en presencia de un Lodo Base Petróleo (LBP), garantizando una mayor fidelidad en la obtención de la saturación de agua residual. A las muestras investigadas para diferentes pozos, se le realizó un ajuste hiperbólico, donde el contenido de material arcilloso (microporosidad) no se manifiesta, al estar la saturación de agua residual acotada en un rango entre 27 y 6%, incluyendo muestras con porosidad mayor de 25%.

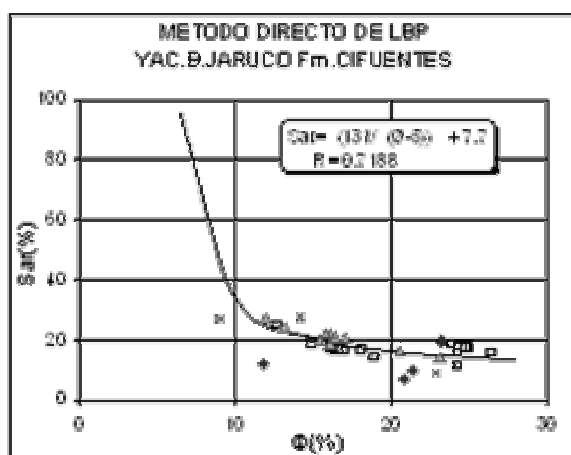


Figura 5. Curvas de saturación de agua residual en función de la porosidad para el Yacimiento Boca de Jaruco.

Otra de las dependencias realizadas para este Yacimiento fue la de Porosidad vs Saturación de Petróleo Residual, empleando el anterior método en muestras que fueron cortadas en

presencia de un lodo base agua. Como se observa en la dependencia de la figura 6, estos carbonatos presentan una saturación de petróleo residual entre 20 y 60%.

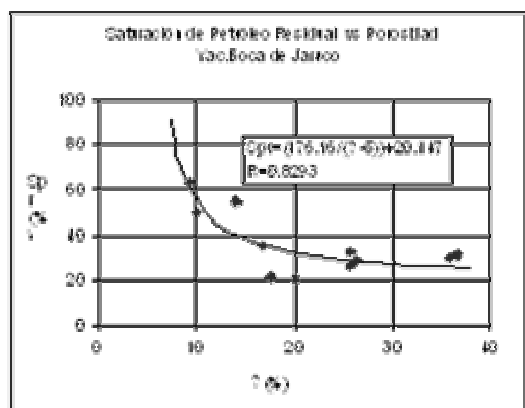


Figura 6. Curvas de saturación residual de petróleo en función de la porosidad para el Yacimiento Boca de Jaruco.

Analizando las características de estos yacimientos tales como: la saturación, la porosidad y la presión capilar, presentándose con baja saturación de agua residual y alta saturación de petróleo residual y predominando la meso y macroporosidad, se corrobora el comportamiento de las rocas de la formación Cifuentes de ser mojadas por petróleo.

La técnica basada en la medición de ángulos de contacto es probablemente la usada con mayor frecuencia, ha sido ampliamente utilizada para cuantificar la mojabilidad de superficies.

En la tabla # II aparecen reflejados los resultados realizados a muestras de los yacimientos en estudios.

Tabla # II. Mojabilidad de las rocas carbonatadas por medición de ángulos de contacto.

Yacimiento	Muestra	Angulo	Resultado
Varadero	1	50°	Mojada al petróleo
Boca de Jaruco	1	38°	Mojada al petróleo
	2	65°	Mojada al petróleo
	3	29°	Mojada al petróleo
	4	78°	Mojada al petróleo
	5	55°	Mojada al petróleo
	6	73°	Mojada al petróleo
Puerto Escondido	1	60°	Mojada al petróleo

En la tabla anterior podemos apreciar por los valores de ángulos de contacto obtenidos para rocas de formación Cifuentes de los yacimientos de Boca de Jaruco, Varadero y Puerto Escondido, que las mismas tienen preferencia de ser mojadas por el petróleo.



## CONCLUSION

Como resultado fundamental de la investigación realizada a través de los métodos: de la botella, presión capilar por plato poroso, agua residual y saturación residual de petróleo por Dean Stark y por las mediciones de ángulo de contacto, se pudo corroborar la preferencia de las rocas carbonatadas de la formación Cifuentes de ser mojadas por la fase petróleo.

## BIBLIOGRAFIA.

- Araujo Y. C., M. Araujo, 1998 "Taller de Interacción Roca-Fluido" (Venezuela) Intevep  
Cuiec. L, 1984 " Rock/crude oil interactions and wettability and attempt to understand their interaction"  
Paper SPE 13211 presented at the SPE annual technical.  
Donalson, E.C., R.D Thomas, and P.B; Lorenz, 1969 " Wettability determination and its effects on recovery efficiency" SPEJ 13-20.  
Dubey, S.T and P.H: Doe, 1991 "Base Number and Wetting Properties of crude Oils" SPE 22598  
Lorenz, P.B,E.C. Donalson and R.D Thomas, (1974) " Use of centrifugal measurements of wettability to predict oil recovery" USBM Report of investigation (USA) Inglés 7873.  
Wagner O. R, R.O. Leach, 1985Trans. AIME, 216,65

Tabla # I. Mojabilidad petróleo-salmuera-roca por el método de la botella.

Yacimiento	Muestra	Resultados	Mojado
Boca de Jaruco	1	Petróleo en la superficie de la salmuera. Petróleo en la arena. Arena sucia.	Sistema petróleo
	2	Petróleo en la superficie de la salmuera. Petróleo aglomerado sobre la arena. Arena sucia.	
	3	Petróleo en la superficie de la salmuera. Petróleo aglomerado sobre la arena. Arena muy sucia.	
	4	Petróleo en la superficie con aglomeraciones recubiertas de mineral. Arena sucia	
	5	Petróleo en la superficie con partículas de mineral. Arena sucia.	
	6	Petróleo en la superficie de la salmuera. Arena sucia.	
	7	No se separó petróleo, la arena se mantuvo muy sucia.	
	8	Formación sucia impregnada de petróleo.	
	9	Pequeñas partículas sobre la arena, la misma se mantuvo muy sucia.	
Varadero	1	No se observa desprendimiento de petróleo, la arena se mantiene impregnada del mismo. Arena sucia.	Sistema petróleo
	2	Formación sucia. Impregnada de petróleo.	
Puerto Escondido	1	Formación impregnada de petróleo, no se observa desprendimiento del mismo. Arena sucia.	Sistema petróleo
	2	Formación impregnada de petróleo, no se observa desprendimiento del mismo. Arena sucia.	



## LA GEOLOGIA Y EL TURISMO DE NATURALEZA

Mireya Pérez Rodríguez, Alfredo Norman Vega

*Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”, Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127, Cujae, Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba CP 19390, C Elect: [mireya@civil.cujae.edu.cu](mailto:mireya@civil.cujae.edu.cu),*

En Cuba se ha registrado un crecimiento gradual y sostenido del turismo de naturaleza en los últimos años. Esto está basado en las condiciones naturales con la que cuenta nuestra isla y su ubicación geográfica en el Caribe. Entre los recursos naturales que contamos, la geología es uno de los más importantes a cuidar por constituir un recurso no renovable, por lo que su manejo y conservación debe ser tarea priorizada en todos los proyectos a realizar. La mayoría de las inversiones turísticas se realizan en ecosistemas frágiles, tales como son los cayos y las playas.

En este trabajo se destacan las características geológico- geomorfológicas y su conservación en el ejemplo de dos cayos: Cayo Jutías en el archipiélago de los Colorados al noroeste de la provincia de Pinar del Río el cual cuenta con grandes bellezas naturales, situada a pocos kilómetros del polo turístico de Viñales y Cayo Largo del Sur situado al Sur de Cuba en el archipiélago de los Canarreos con una geomorfología muy regular, caracterizada por colinas alargadas separadas por hondonadas, observándose restos de afloramientos de la Formación Jaimanitas con su típica estratificación horizontal y cruzada.

Para poder conservar esta riqueza geológica en una región de tanta fragilidad se hace necesario desarrollar un turismo ecológico o de naturaleza que permita preservar los valores geológicos los cuales constituyen un atractivo al turista. Esto demanda un trabajo sistemático de divulgación de estas riquezas las que muchas veces de manera inconsciente se destruyen por la actividad humana.



## MITIGACION DE IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR LA PEQUEÑA MINERÍA.

**Nyls Ponce Seoane<sup>(1)</sup>, Jorge L. Díaz Comesañas, Ramón Rivada Suárez y Adelaida Castellanos Silván.**

(1) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de La Habana, Cuba. Telf. 55 72 32 Fax. 55 70 04 e-mail: [mambiente@igp.minbas.cu](mailto:mambiente@igp.minbas.cu)

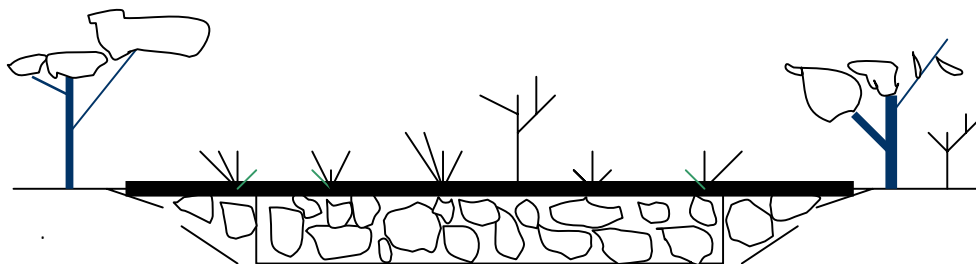
### RESUMEN.

En el ejemplo de dos pequeños objetos mineros semejantes (Capellanía y Jaimanitas), situados, el primero, en la Llanura de Artemisa (que forma parte de la Llanura Meridional de La Habana) y cerca del poblado del cual toma su nombre; y el segundo, en la Llanura Costera Septentrional de La Habana, entre playa Baracoa y la playa El Salado, de donde se extraen bloques de piedras decorativas para la construcción, se realizaron estudios geoambientales que, metodológicamente, incluyeron análisis bibliográficos, observaciones de campo e identificación de impactos y tuvieron como resultado:

- 1) La caracterización de la línea base ambiental.
- 2) La determinación de los principales impactos (alteración del relieve, pérdida del suelo y deforestación), provocados por la extracción minera.
- 3) Las medidas mitigadoras para remediar dichos impactos.

Al momento del cierre de estas canteras, ambos terrenos quedarán transformados por el impacto de la extracción, sin suelos y deforestados, con numerosos escombros y rípios de rocas. Se proponen trabajos de recuperación del ambiente que contemplarán:

La suavización de los bordes abruptos de la cantera utilizando los instrumentos propios de la actividad minera, posterior a lo cual se colocarán, previa trituración, los bloques desechados en el fondo e interior de la cantera ya explotada y sobre ellos se depositará, como relleno, la tierra del destape acumulada. Por último, se deberá sembrar con pastos, arbustos y árboles la superficie del área de la cantera rellenada, para crear un paisaje semejante al existente en el resto del área no impactada por la minería.



### ABSTRACT.

In the example of two small similar mining objects (Capellanía and Jaimanitas) located the former in Llanura de Artemisa (that is part of La Llanura Meridional de La Habana) and near to the town from which it is called after its name, and the latter in Llanura Costera Septentrional de La Habana, between Playa Baracoa and Playa El Salado, from which stone decorative blocks for construction, geoenvironmental studies were carried out which methodologically included bibliographical analysis, field observations and impact identification which resulted in:

- 1) The characterization of environmental base line
- 2) The determination of the main impacts (the relief alteration, lost of the soils and deforestation provoked by the mining extraction).
- 3) The mitigant measures to remedy such impacts.



At the closing moment of these quarries, both terrains will be changed by the extraction impact, without soils and forest, with lots of rubbish and rocks fragments. It is proposed some recovery jobs of the environment that will cover the following:

The softening of the cut edges of the quarry by using instruments dealing with the mining activity. After this the depreciated blocks will be placed, previously triturated, at the bottom and inside the quarry already exploited and upon them will be deposited as replacement, the accumulated soils or the uncovering works. Finally it will be grown with pastures, bushes and trees on the surface of the area of the repleted quarry to create a landscape like the one existing in the rest of the not impacted by mining area.

## INTRODUCCIÓN.

No por pequeña, la llamada Pequeña Minería deja de impactar al medio ambiente, afectando los factores físico - geográficos que conforman a este. Y no por mínima, la degradación del paisaje, donde quiera que esté, no se debe descuidar y se deben tomar las correspondientes medidas para la preservación del mismo y coadyuvar, de esta forma, al cuidado de la naturaleza y al desarrollo sostenible.

La extracción de losas de revestimiento en dos objetos de obras mineras pequeños (Jaimanitas y Capellanía) de margas calcáreas o calizas margosas para las construcciones civiles, a pesar de encontrarse en ubicaciones geográficas diferentes y haber sido estudiados casuísticamente, nos condujo a resultados semejantes con respecto a los impactos ambientales provocados en los dos yacimientos investigados. Al tener una litología y metodología de extracción iguales, los impactos fueron similares, por lo que conllevó a la propuesta de generalización de las medidas mitigadoras para ambos.

## OBJETIVOS.

La investigación tuvo como objetivos fundamentales:

- El estudio de la línea base ambiental.
- La evaluación de los impactos ambientales
- Las medidas de mitigación.

## MATERIALES Y METODOS.

Para la consecución de estos objetivos la metodología utilizada fue la del análisis bibliográfico de los materiales existentes; las observaciones de campo y la identificación de impactos mediante las reuniones de expertos.

## RESULTADOS Y SU DISCUSION.

### a. Línea Base Ambiental

	Jaimanitas	Capellanía
Ubicación	Llanura Costera Septentrional de La Habana (Gutiérrez Dopmech R.)	Llanura Meridional de La Habana (Gutiérrez Domech R.)
Geología	Fm. Jaimanitas calizas del Pleistoceno	Fm. Cojímar calizas del Mioceno.
Relieve	Terraza Abrasivo - Acumulativa	Llanura Ondulada Abrasivo – Denudativa.
Suelos	Calizos Rojos, Latosólicos y Calizos Pardos (Instituto de Suelos)	Latosólicos o Ferralíticos Rojos (Instituto de Suelos)
Aguas	No se observa desarrollo de la red fluvial.	Idem.



Superficiales		
Aguas		Acuíferos freáticos abiertos
Subterráneas		
Vegetación	Fms. Arbustivas, Arbóreas y vegetación secundaria de pastos	
Uso	Minero, vial, pastos, agropecuario y T. Baldíos	Minero, vial, agropecuario asentamientos semiurbanos y avícola.

Sistema de extracción minera                      Obtención de bloques mediante máquina e hilo diamantado

La geología calcárea de ambos yacimientos condiciona la condición cársica (Ponce Seoane et. al.) de ambos que conlleva a que la mayoría de los factores medioambientales sean semejantes ó parecidos como se puede observar del cuadro comparativo donde prácticamente se diferencian por su ubicación geográfica y la edad de las rocas calcáreas.

## b. IMPACTOS

Los principales impactos detectados fueron:

1. Pérdida del sustrato rocoso por la extracción.
2. Alteración del relieve producto de la extracción.
3. Destape y acumulación del suelo.
4. Desbroce o eliminación de la vegetación.
5. Alteración al escurrimiento superficial como consecuencia de la afectación a la vegetación, al suelo y al relieve.
6. Pérdida de pequeñas especies faunísticas (lagartos, hormigas etc.) y destrucción del hábitat de las mismas.
7. Destrucción del hábitat de algunas especies faunísticas.
8. Impacto visual al paisaje como resultado de la actividad minera.
9. Impacto positivo por la apertura de una nueva fuente de trabajo en la zona.

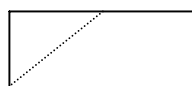
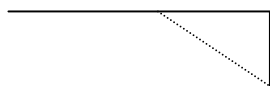
## CONCLUSIONES.

Como conclusiones del trabajo se ofrecen las siguientes recomendaciones de medidas de mitigación.

### MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA LOS IMPACTOS PRODUCIDOS Y PARA LA REHABILITACIÓN DEL ÁREA AFECTADA.

Consideramos que durante y al final de la explotación de este yacimiento, por analogía y al igual que en el yacimiento homólogo de Jaimanitas, se deben ir aplicando medidas de mitigación y rehabilitación ambientales, de forma tal que permitan recuperar el paisaje local y disminuir el impacto visual negativo provocado. Estas deben ser:

- Suavizar los bordes abruptos de la cantera utilizando los instrumentos propios de la actividad minera.

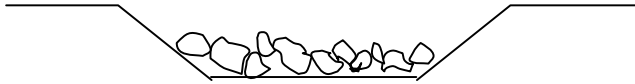






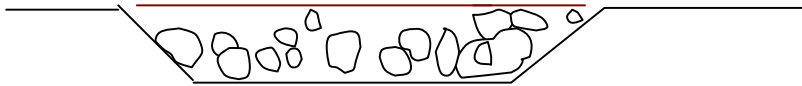
### Cantera

- Los bloques desechados y fragmentos de rocas, se colocarán, previa trituración, en el interior de la cavidad de la cantera.



- La tierra del destape acumulada depositarla sobre los bloques desechados, y en el resto de las cavidades de la extracción, como relleno.

- 
- 
- 
- 
- 



- Sembrar con pastos la superficie del área de la cantera rellenada, para crear un paisaje semejante al existente en el resto del área no impactada por la minería.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Gutiérrez Domech M.R. y Rivero Glean M (1997), MiniGeografía de Cuba. Editorial Científico-Técnica : 122 págs., La Habana.

Instituto de Suelos (1973). Academia de Ciencias de Cuba. Génesis y Clasificación de los Suelos de Cuba : Págs. 168 – 199. Ciudad de la Habana.

Ponce Seoane N., et. al. (2 000). Instituto de Geología y Paleontología. Inventario de los principales en las regiones cársicas de Cuba (provincias de La Habana y Ciudad de La Habana):110 págs. Ciudad de La Habana





## EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL MUNICIPIO PLAZA DE LA REVOLUCIÓN

**Bárbara L. Miravet Sánchez<sup>1</sup>, Mario Campos<sup>1</sup>, Efrén Jaimez<sup>1</sup>, Mario Guerra<sup>1</sup>, Ernesto Rocamora<sup>1</sup>, Jorge Olivera<sup>1</sup>, Rosa M Leal<sup>1</sup>, Gabriela Blanco<sup>2</sup>, Ismael Hernández<sup>1</sup>, Silvestre E Pacheco<sup>1</sup>, Ingrid Guerra<sup>1</sup>, Orlando Sánchez<sup>1</sup>, Jorge de Huelbes<sup>1</sup>, Regla Toujague<sup>1</sup>.**

(1)Departamento de Estudios Geoambientales, Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 # 2906 e/ 29 y 31, La Lisa, CP 11600, La Habana, Cuba; fax: (537) 33-9497 E-mail: [liz@iga.cu](mailto:liz@iga.cu)

(2)Delegación CITMA Ciudad Habana

### RESUMEN

En el trabajo se realiza una Evaluación Integral de las condiciones Geoambientales del Municipio Plaza de la Revolución, en el contexto de su desarrollo económico-social, para obtener una correcta valoración del estado actual del medio ambiente. Para ello se realizó una recopilación de información disponible en aspectos relacionados con la Geología, Geomorfología, Suelos, y otros componentes ambientales así como del medio socio-económico del Municipio. A partir de toda esta información se identificaron los principales problemas ambientales que afectan al Municipio y seguidamente fueron elaborados un conjunto de mapas temáticos. Se identificaron las acciones antrópicas que son causa de los principales impactos negativos al medioambiente en el Municipio, tales como los vertimientos de residuales líquidos y sólidos de origen industrial, domésticos, y hospitalarios a los ríos y a la zona costera del Municipio. En el trabajo se ofrece una relación contrastada y debidamente documentada acerca de los principales impactos ambientales tanto negativos como positivos, que afectan en la actualidad al Municipio, así como un conjunto de posibles medidas que coadyuven a la prevención, mitigación, y corrección de los mismos. Los mapas construidos permitieron el monitoreo de los principales problemas ambientales, diseñándose un plan de medidas correctivas para mitigar o eliminar los impactos ambientales generales y para asegurar la protección y conservación del medio ambiente.

### ABSTRACT

It's made an integral evaluation of the environmental conditions in Plaza de la Revolucion Municipality, in the context of their socio-economic development, to obtain a correct valuation of the current state of the environment. It's was carried out a summary of available information in aspects related with the Geology, Geomorphology, Soils, and other environmental components as well as about the socio-economic means of the Municipality. Starting from all this information the main environmental problems which affect the Municipality were identified and subsequently were elaborated a group of thematic maps. The anthropic actions which are cause from the main negative impacts to the environment in the Municipality were identified, such as the pollution from residual liquids and solids industrial, domestic, and hospital origin to the rivers and the coastal area of the Municipality. In the work it is offered a contrasted relationship and properly documented about the main negative and positive environmental impacts that affect at the present to the Municipality as well as a group of possible measures to cooperate with prevention, mitigation, and correction of the same ones. The built maps allowed to monitor the main environmental problems, being designed a plan of measured correctives to mitigate or eliminate the general environmental impacts and to assure the protection and conservation of the environment.



## INTRODUCCION

La caracterización del medio ambiente y la instrumentación de políticas, elaboración de metodologías y aplicación de técnicas de avanzada para su conservación y protección se ha convertido en los últimos años en uno de los problemas científicos de máxima prioridad de la comunidad internacional, por sus implicaciones directas en la conservación de la vida en la tierra (Campos, 2000).

El presente trabajo se propuso como objetivo, realizar una Evaluación integral de las condiciones geoambientales del Municipio Plaza de la Revolución en el contexto de su desarrollo socioeconómico, haciendo énfasis en el estudio del ambiente físico, por su función como fuente de recursos, soporte de las actividades humanas y receptor de residuos con el fin de crear las bases para futuros estudios de ordenamiento territorial y ambiental y para dotar al Gobierno Municipal con la información geoambiental necesaria para evaluar la trascendencia de los problemas ambientales detectados y revelar la necesidad de adoptar un conjunto de medidas de prevención, mitigación y corrección de dichos problemas.

Para el logro de estos resultados se aplicaron los métodos y técnicas que con mayor efectividad se utilizan en el ámbito internacional, realizándose primeramente la identificación de los principales problemas ambientales que afectan el territorio. Seguidamente fueron elaborados mapas temáticos para los principales componentes del medio ambiente, haciéndose énfasis en aquellos relacionados con el geosistema y el antroposistema, estableciéndose las principales relaciones entre ellos, manifestadas a través de diferentes impactos ambientales.

### Descripción del Municipio.

El Municipio Plaza de la Revolución abarca un área de 11.82 Km<sup>2</sup> representando el 1.63% de la superficie de la Provincia Ciudad de la Habana y está ubicado en la porción centro y norte de la capital del país. Limita al norte con el litoral habanero, el cual tiene una extensión de 7 Km bañado por las aguas del Estrecho de la Florida, al Este se localizan los municipios de Centro Habana y Cerro, al sur el Municipio de Marianao y al oeste se ubica el Río Almendares que separa al territorio del municipio capitalino de Playa, como se observa en la (Figura 1).

El municipio presenta características geólogo-ambientales contrastantes, como resultado del carácter heterogéneo del sustrato rocoso del territorio, en el cual se manifiestan diferentes procesos y fenómenos físicos-geológicos que influyen en las condiciones ambientales del territorio, distinguiéndose de Norte a Sur tres zonas geólogo-ambientales (Figura 2):

- ❖ Zona I: Integrada por rocas carbonatadas.
- ❖ Zona II: Constituida por rocas terrígeno-carbonatadas.
- ❖ Zona III: Constituidas por rocas terrígenas.

El relieve sobre el que esta asentado el Municipio Plaza de la Revolución está totalmente transformado por la urbanización y prácticamente no hay una sola localidad donde pueda observarse totalmente sus condiciones naturales. En el Municipio se pueden reconocer cuatro tipos geomorfológicos del relieve:



- Relieve de terrazas marinas carsificadas del norte
- Relieve de la margen del río Almendares y sus terrazas fluviales
- Relieve de la llanura colinosa erosivo – denudativa
- Relieves residuales cársicos.

Considerado como el centro de Ciudad más importante de la capital por su función política y de servicios, el Municipio Plaza de la Revolución concentra además de la sede del Gobierno y de partes importantes de la Administración Central del Estado, la mayor cantidad también de instituciones, cadenas hoteleras y hospitales, así como instituciones religiosas, culturales, y centros de servicios a la población de la capital, siendo esta la principal actividad económica del municipio.

## MATERIALES Y METODOS

A través de este trabajo se realizó la caracterización del medio físico y socioeconómico, recopilando y generalizando la información disponible en aspectos relacionados como: Geografía, Geología, Geomorfología, Suelos entre otros recursos naturales del municipio. También se tuvo en cuenta aspectos económicos presentes en él y datos acerca de su población, su historia, su cultura, el deporte, la educación y la salud. Toda esta información fue aportada por las diferentes Direcciones Municipales e Instituciones del municipio.

En este trabajo se aplicaron métodos y técnicas que se utilizan en el ámbito internacional. Para la obtención de los mapas temáticos de los principales componentes del medio ambiente, principalmente aquellos relacionados con el geosistema y el antroposistema. Se uso el Software Mapinfo 6.5, Surfer, y Excel.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Entre los resultados que se obtuvieron tenemos el *Diagnóstico Ambiental del Municipio* en el cual se realizó una caracterización del medio físico y socioeconómico, detectando los problemas ambientales de mayor incidencia que están referidos a:

- 1-Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Figura 3).
- 2-Existencia de peligros naturales potenciados por el desarrollo de fenómenos físico-geográficos como presencia del carso, inundaciones, penetraciones del mar (Figura 4), desprendimientos, procesos erosivos, etc.
- 3-Inadecuado manejo y disposición de los residuales sólidos urbanos, desechos hospitalarios y deficiente servicio de recogida de basura doméstica.
- 4-Inadecuado manejo de los residuales líquidos.
- 5-Deforestación de las márgenes de los ríos.
- 6-Pérdida del fondo agrícola y del soporte ecológico natural por oclusión de los suelos del municipio, debido a la intensa urbanización.
- 7-Contaminación de algunos "suelos-reliquias" por desechos urbanos (basura doméstica), y por contenidos locales muy altos de fósforo asimilable ( $P_2 O_5$ ), asociados a fuentes contaminantes de origen biológico: Necrópolis de Colón)
- 8-Desarrollo de barrios y focos insalubres y asentamientos humanos ilegales (Figura 5).

El Resultado en el *Atlas Ambiental del municipio* fue la obtención de un conjunto de mapas temáticos o especializados que permitieron caracterizar y representar el estado



actual del medio ambiente en el territorio sobre una base cartográfica adecuada, posibilitando investigar las causas, el alcance y las perspectivas de los principales problemas ambientales detectados en las diferentes etapas de trabajo.

Se diseñó un Sistema de Información Geográfica (SIG) que crea las bases necesarias para el Ordenamiento Territorial y Ambiental así como para el monitoreo de los principales problemas de contaminación Ambiental y problemas de salud de la población.

Se diseñó un plan de medidas para prevenir, mitigar y corregir los impactos ambientales presentes o futuros presentes en el territorio.

## CONCLUSIONES

1. El Municipio Plaza de la Revolución es uno de los territorios más afectados de la capital del país por el pernicioso fenómeno de inundaciones costeras, por penetraciones del mar.
2. Puede afirmarse que el antropismo en el Litoral (construcción del muro del malecón) más la acelerada evolución urbana, el deficiente drenaje pluvial y otros procesos antrópicos, han complejizado esta situación haciendo a este sector el más vulnerable, a tal punto que las inundaciones y penetraciones del mar se han convertido en el principal problema de esta zona, incrementado en intensidad y frecuencia en los últimos años.
3. El proceso geológico de mayor significación ambiental en el municipio, se relaciona con la disolución cársica de las rocas carbonatadas, que ha ocasionado el surgimiento de diferentes manifestaciones cársicas entre las que se destacan dolinas como las que se localizan en las calles F y 19, 25 entre J y K, 21 entre G y H y otras que seguramente yacen sepultadas bajo las áreas urbanas del Municipio.
4. Aunque los riesgos asociados a los fenómenos cársicos no han sido evaluados, se debe alertar al Gobierno Municipal, acerca de la necesidad de desarrollar estudios específicos sobre esta problemática que puede incidir directamente sobre la estabilidad de las construcciones y sobre la vida de la población.
5. Otras situaciones que afectan al municipio, atendiendo a las características cársicas de su porción septentrional, son provocadas por acciones antrópicas, relacionadas con la obstrucción de las cavidades con residuos sólidos o por actividades constructivas, que provocan alteraciones en el drenaje superficial sobre todo cuando ocurren eventos meteorológicos extremos de alta pluviosidad y extensas penetraciones del mar. A las situaciones anteriormente descritas se le suma el hecho de que algunas cavidades cársicas sirven de colectores de aguas negras de la ciudad, incidiendo esto en la contaminación de las aguas subterráneas y marinas.
6. El relieve sobre el que está asentado el municipio Plaza de la Revolución está totalmente transformado por la urbanización y prácticamente no hay una sola localidad donde pueda observarse totalmente sus condiciones naturales.





7. El Municipio Plaza de la Revolución es uno de los territorios de mayor desarrollo urbano dentro de la capital del país. En consecuencia, es también uno de los municipios donde los suelos han sido más impactados por la infraestructura vial y residencial, así como por la contaminación ambiental.
8. En sentido general, puede decirse que la pérdida del fondo agrícola y del soporte ecológico natural debido a la fuerte urbanización, constituye el principal problema ambiental relacionado con los suelos del Municipio Plaza, toda vez que estos a pesar de no haber sido suelos muy productivos para la agricultura tropical, sí constituyeron en cambio el sustrato más importante para el sostenimiento de los principales ecosistemas naturales terrestres que existieron en el territorio, por lo que la oclusión y destrucción de los primeros, conduce inexorablemente a la destrucción también de los segundos.
9. A lo anterior hay que añadir, el alto grado de contaminación que se aprecia en las escasas áreas que conservan “suelos – reliquias” en el Municipio, básicamente debido a fuentes domésticas, y dentro de estas últimas, al mal manejo y disposición final de la basura doméstica en el territorio.
10. Los parques y microparques son de gran valor ecológico, recreativo, cultural e histórico. Sus especies son empleadas básicamente como sombra y fines ornamentales, además de la importancia que las mismas tienen como purificadoras del aire y como atenuantes del ruido urbano.
11. La existencia de microvertederos y vertederos incontrolados con la consiguiente proliferación de vectores y exposición sistemática de la población a los mismos pudieran ser causas del desencadenamiento de enfermedades altamente riesgosas para la salud humana.
12. Vertimientos de residuales domésticos provenientes de las barriadas colindantes a ambos márgenes y zanjas clandestinas, así como residuales industriales al río Almendares que desembocan en el Litoral, provocando afectaciones en el mismo, sin dejar de mencionar el vertimiento tanto doméstico e industrial que va directo a este contribuyendo también a la contaminación en la zona costera.
13. La actual estructura de manejo, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos urbanos, así como los residuales de albañales y hospitalarios de los centros estudiados, puede decirse que no favorecen las actuales exigencias de cuidado y conservación del medio ambiente de la ciudad.
14. Se consideran como principales fuentes contaminantes en el Municipio Plaza de la Revolución, las siguientes:
  - Torrefactora de Café Pílon
  - Astilleros Chullima.
  - Parque Zoológico de 26
  - Población servida Cuenca Baja Río Almendares



15. Se han recogido quejas de la población por emisiones de gases a la atmósfera a partir de fuentes que afectan a la población como lo son nuevamente La Torrefactora de Café Pílon, el Cementerio de Colón e incineradores y calderas de Institutos y hospitales
16. Se identificaron las acciones antrópicas que son causa de los principales impactos negativos al medioambiente en el Municipio, tales como los vertimientos de residuales líquidos y sólidos de origen industrial, doméstico, y hospitalario a los ríos y a la zona costera del Municipio.
17. En el trabajo se ofrece una relación contrastada y debidamente documentada acerca de los principales impactos ambientales tanto negativos como positivos, que afectan en la actualidad al Municipio, así como un conjunto de posibles medidas que coadyuven a la prevención, mitigación, y corrección de los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Mourdoch. L (1995): Análisis del peligro de inundación de la Provincia Ciudad de La Habana. Trabajo de Diploma, Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, 24pp
- Tridy. M (1998): Caracterización Socio-Demográfica del Municipio Plaza de la Revolución. Trabajo de Diploma, Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, 52pp.
- Miranda. A. (1995): Estudio Geográfico del área de rehabilitación del Malecón Habanero.. Trabajo de Diploma, Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, 29pp.
- Informe sobre el trabajo desarrollado por la Comisión Municipal de Protección al Medio Ambiente. del Consejo de la Administración Municipal (Año 2000).
- Colectivo de autores, (2000): Evaluación de necesidades y potencialidades de la localidad. Una contribución a la estrategia de desarrollo local, Consejo Popular Vedado-Malecón, Geografía Tropical, 108pp.
- Domínguez, L. (2001): Informe Plaza de la Revolución, 12pp.
- Información obtenida por los Presidentes de los Consejos Populares de los Diagnósticos realizados a los diferentes Consejos que son: Consejo Popular Colón - Nuevo Vedado, Vedado, Príncipe, Plaza, Vedado-Malecón.
- Información suministrada por el Gobierno Municipal sobre el Plan de Medida para Casos de Catástrofe correspondiente a penetraciones del mar.
- Keller, E. (1995): Environmental Geology. Prentice may, New Jersey, 560pp.



- Rodríguez, J. (1998): Geología Ambiental [inédito], ISPJAE, La Habana.
- Miravet, B L.(2001): Caracterización de las vías de circulación de los contaminantes en la cuenca del Almendares a partir de datos Geólogos-Geomorfológicos. Tesis de Maestría, Facultad Civil, ISPJAE, 80pp.
- Instituto de Suelos (199): Nueva versión de Clasificación Genética de los Suelos Cuba. Editorial Agrinfor. La Habana, 64 pp.
- Mitrani I,(2003): Universidad para todos, Curso de Meteorología.
- Ballester, M., José Rubiera y Omar García; (1999): Temporada ciclónica de 1999 en el Atlántico del Norte, Revista Temporada ciclónica, Departamento de Pronósticos. ISMET-CITMA, Cuba.

## LISTADO DE FIGURAS

1- Figura 1 Ubicación del Municipio Plaza de la Revolución.

2-Figura 2 Mapa Geológico del Municipio.

3- Figura 3 Fotos que muestran la contaminación del Municipio del Plaza de la Revolución.

4-Figura 4 Foto de penetración del mar.

5- Figura 5 Fotos que muestra el Barrio Insalubre el Fanguito del Municipio del Plaza de la Revolución.





Figura 2 Mapa Geológico del Municipio

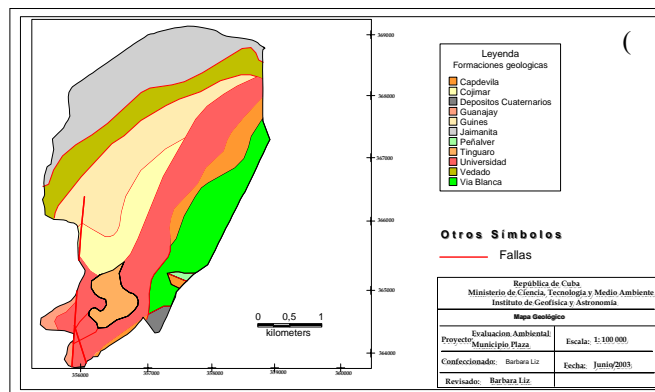


Figura 3 Fotos que muestran la contaminación del Municipio del Plaza de la Revolución



*Vertimiento de  
residuales  
industriales y  
domésticos en el  
litoral del  
Municipio*



**RESIDUALES  
INDUSTRIALES  
(ASTILLEROS  
CHULLIMA)**



Residuales Domésticos  
que se vierten al  
Almendares





Figura 4 Foto de Penetración del mar (Tormenta del Siglo 13 de Marzo del 1993)



(Esta foto fue tomada del Curso de Meteorología de Universidad para todos, Mitrani(2003))

Figura 5 Barrio insalubre el Fanguito





## MANUAL DE ENTRENADORES EN INDICADORES DE TURISMO SUSTENTABLE

Gisela Díaz Quintero, Alfredo Norman Vega

*Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127, Cujae,  
Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba CP 19390, C Elect: anormanv@civil.cujae.edu.cu*

Durante la Conferencia Mundial de Turismo Sustentable, efectuada en Abril de 1995, en Islas Canarias, bajo el auspicio de la Organización Mundial de Turismo, la UNESCO y la UNEP, se establecieron las bases conceptuales del turismo sustentable y la participación de la población vinculada y los beneficios a recibir. Durante la celebración de la III Cumbre de jefes de Estado y Gobierno de la Asociación de Estados del Caribe (AEC), celebrada en diciembre del 2001, se concretaron los trabajos que venía realizando el Comité Especial de Turismo Sustentable y la Secretaría de la AEC, con la firma del Convenio de Turismo Sustentable para el establecimiento de la Zona de Turismo Sustentable del Caribe (ZTSC). Para implementar la Sustentabilidad en los destinos turísticos del Gran Caribe, se procedió a la preparación sobre bases pedagógicas, de un Manual de procedimientos para Entrenadores, a fin de establecer los criterios de medida y estándares de calidad de referencia, el cual fue aprobado y adoptado como guía de trabajo por los 28 países que integran la AEC. En el Manual se exponen los conceptos fundamentales, el método a seguir en el proceso de organización del trabajo, la información necesaria para la selección de los indicadores normativos y locales y procedimiento a seguir para desarrollar el trabajo sobre la Sustentabilidad en los destinos turísticos así como informaciones de utilidad sobre cada uno de los indicadores para facilitar su aplicación.





## LA CONCESIÓN MINERA SIERRA MAESTRA ORIENTAL Y LAS VENTAJAS QUE LA INVERSIÓN A RIESGO TRAE PARA EL AUMENTO DEL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE CUBA.

**Roberto Sánchez Cruz<sup>(1)</sup>, Elvia Bosch Reyes<sup>(2)</sup>.**

(1) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca 1002 entre Calzada de Güines y Línea del Ferrocarril. San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba, CP 11000. E-mail: [rscruz@igp.minbas.cu](mailto:rscruz@igp.minbas.cu);

(2) Geominera S. A. Calle No. Reparto Chibás, Guanabacoa. E-mail: [elvia@geominerasa.minbas.cu](mailto:elvia@geominerasa.minbas.cu)

### RESUMEN

Desde 1993 GEOMINERA S.A. ha firmado unos 50 contratos de asociación para la inversión a riesgo a distintas escalas desde la prospección regional-detallada-exploración y explotación de distintos minerales. La política minera adoptada, amparada en la Ley de Minas vigente, ha logrado que los datos generados por todas estas investigaciones se conserven en el territorio nacional, lo que ha incrementado sensiblemente el conocimiento geológico del país; un buen ejemplo: la concesión Sierra Maestra Oriental (SMOR) de prospección regional, investigada por la AEI CaribGold Mines Inc.-Geominera S.A. entre 1993 y 1996.

Las investigaciones demostraron la auriferidad de los skarnes de los depósitos Antoñica y Yuca y por ende la perspectividad aurífera del campo mineral Hierro-Santiago y de la Sierra Maestra; se descubrió el pequeño depósito de oro de La Cantera-Sigua y sus zonas perspectivas aledañas (NESigua, Berracos, Chalcía, Las Vetas, Noranda). Se descubrieron 55 nuevas manifestaciones minerales, 209 nuevos puntos mineralizados (cobre, hierro, barita oro y plomo) y 135 nuevas zonas de alteración hidrotermal en las rocas. En 200 Km<sup>2</sup> de trabajos aerogeofísicos se revelaron más de 30 anomalías HEM cuya verificación, solo en el N de La Gran Piedra, descubrió 8 puntos con contenidos de Cu entre 1.0-1.2%. Se recomendaron 4 sectores para la continuación de la prospección: 3 566 ha de prioridad I y 1 245 ha de prioridad II.

La concesión SMOR hasta el momento ha generado dos proyectos de prospección detallada, en La Cantera y en Sigua y más de 10 trabajos de investigación científica.

### ABSTRACT

From 1993 GEOMINERA CORP. it has signed about 50 different association contracts for full risk investment in mining industry to different scales, from the prospecting regional-detailed-exploration and exploitation of different minerals. The adopted mining politics, aided in the effective Law of Mines, it has achieved that the whole dataset generated by all these investigations are conserved in the Cuban national territory, what has increased the geologic knowledge of the country sensibly; a good example: the concession Sierra Maestra Oriental (SMOR) for regional prospecting, investigated by the AEI CaribGold Mines Inc.-Geominera S.A. between 1993 and 1996.

The investigations showed the perspectives for gold inside the skarnes in Antoñica and Yuca ferrous deposits and therefore the auriferous perspectives for the Iron Field-Santiago and Sierra Maestra; there was discovered the small gold deposit of La Cantera-Sigua and another interesting sectors: (NESigua, Berracos, Chalcía, Las Vetas, Noranda). Inside the concession they were discovered 55 new mineral showings, 209 new mineralized points (Fe, Ba, Zn, Cu), and 135 new areas of hydrothermal alteration in rocks. In 200 Km<sup>2</sup> of airborne geophysical survey they were revealed more than 30 HEM anomalies whose verification, alone in the N of Gran Piedra, discovered 8 points with contents of Cu among 1.0-1.2%. It were recommended 4 sectors for prospecting: 3 566 h in high priority and 1 245 h in a row.



The SMOR concession up to now has generated two detailed prospecting projects, in La Cantera sector and more than 10 scientific investigation works.

## INTRODUCCION

El área de la concesión Sierra Maestra Oriental (SMOR) se encuentra ubicada exactamente al este de la Ciudad de Santiago de Cuba, en el extremo oriental de la cordillera de La Sierra Maestra y se alarga desde la margen de su costa sur hasta aproximadamente la latitud del poblado de El Escandel. Los límites occidental y oriental pasan respectivamente por las cercanías del poblado de Sevilla y la laguna de Baconao, correspondientes con las coordenadas Lambert Cuba Sur 612 000 y 639 000. La propiedad está ubicada en las cartas topográficas del ICGC. a escala 1:50 000 de la República de Cuba 5075-I Siboney y 5076-II Gran Piedra.

El contrato de la Sierra Maestra Oriental entre Geominera S.A. y CaribGold Mines Inc. inscrito ante la Cámara de Comercio de la República de Cuba cubría un área de 455 km<sup>2</sup> con los siguientes sectores de exclusión: La Isabelica de 16 Km<sup>2</sup>, La Julia de 6 Km<sup>2</sup> y Sevilla de 20 Km<sup>2</sup>.

Durante la ejecución del contrato que se extendió desde Octubre/93 hasta Diciembre/96 las principales tareas a resolver fueron la localización, revisión y muestreo de todos los puntos de mineralización, manifestaciones minerales, yacimientos y zonas de alteración hidrotermal reportados en la zona con el fin de detectar sectores de interés para la aparición de yacimientos minerales de dos tipos fundamentales: oro asociado a depósitos epitermales y oro asociado a skarn aurífero. El trabajo fue concebido en dos etapas: la primera de reconocimiento regional cuyo fin único sería la ubicación de los sectores más перспекivos dónde realizar los trabajos de prospección y la segunda etapa correspondería a los trabajos propiamente de prospección. Nos referiremos en este reporte solamente a los logros alcanzados durante la primera etapa.

## METODOS Y METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS

### Generalidades

La región posee un relieve muy bien diferenciado, prevaleciendo una topografía montañosa, dónde se encuentran cotas absolutas desde 300m. hasta 1200m. y desniveles relativos en los rangos de 300m. a 900m. La zona más desmembrada corresponde a la parte central del sector, macizo de La Gran Piedra, dónde se desarrollan profundos valles en forma de V, cañones y estribos que se extienden en dirección meridional fundamentalmente y que disminuyen hacia el litoral dónde se desarrollan las terrazas marinas. La periferia del sector de La Gran Piedra posee una accesibilidad aceptable, pues incluye las carreteras Santiago-Guantanamo, Santiago-Siboney y Siboney-Baconao; la parte central está cubierta por la carretera Las Guásimas-Gran Piedra. Hasta las inmediaciones de El Caney, accede la Autopista Nacional y el ferrocarril Santiago-Guantánamo pasa a menos de 5 km. del norte del área. El resto de la zona está cubierta por caminos para todoterrenos y trillos de a pie y de a caballo. A escasos 10 km. del límite occidental del área se encuentra el puerto de Santiago de Cuba, segunda ciudad del país, con casi 400 000 habitantes, aeropuerto internacional y desarrollo de las industrias energética, textil, electrónica, de refinación de petróleo y turística.



Uno de los aspectos más significativos de la región lo es su elevada sismicidad, la mayor de Cuba. Las intensidades máximas para períodos de recurrencia de 20, 50, 100 y 1000 años, con una probabilidad del 90 % son respectivamente de 9, 9, 8 y 9 grados en la escala MSK. Los eventos sísmicos se asocian a las fallas profundas de la región y están relacionados con Bartlett; fault bajo el mar. Al sur de la zona se han detectado sismos de 7 grados en la escala MSK. La zona del macizo montañoso de la Gran Piedra, coronado por la cima de igual nombre de 1226 m. de altitud, se encuentra en ascenso a razón de 1 mm anuales al oeste y suroeste de las fallas Daiquirí y Baconao respectivamente. Las regiones aledañas se encuentran en equilibrio.

La precipitación media anual es de 1400-1600 mm. en las zonas montañosas y de 800-1000 mm. en las zonas costeras. El promedio anual de días con lluvias es entre 100 y 140 en la parte montañosa y 40-80 en las regiones costeras. La precipitación media en el período lluvioso ( Mayo-Octubre ) según datos de 1931 a 1972 es de 1000-1200 mm. en las montañas y en las zonas costeras de 600-800 mm. El período lluvioso comienza en las partes altas en la primera decena de Abril; en el resto de las zonas montañosas entre la segunda y la tercera decena de Abril, y en las zonas costeras en la primera decena de Mayo. El promedio anual de días con turbonadas es de 80-100 y de 60-80 en las zonas montañosas y costera respectivamente.

La aflorabilidad en la región es mayor en los arroyos y ríos y en las partes apicales de las elevaciones. En general el mayor problema radica en el fuerte grado de intemperismo de los afloramientos producto de la acción de un clima tropical de montaña.

## **Economía.**

La especialización en el uso de la tierra es eminentemente para pastos.

El rendimiento de los cultivos en el área es muy limitado producto de los tipos de suelos presentes, fundamentalmente ferralsíticos y pardos, y adicionalmente por otros factores como son la pendiente y la erosión. Actualmente la zona sigue, aunque en menor cantidad que en el pasado, dedicándose al cultivo del café y las frutas tropicales, por cierto una vez las mejores del país.

La propiedad, por su cercanía a la ciudad de Santiago de Cuba tiene bastante bien desarrollada su infraestructura agrícola con una red de caminos de tierra que satisface las necesidades del acarreo de los productos del agro y al mismo tiempo sirve para el acceso de la población a los escasos poblados que se asientan en el área. La parte oriental del sector en la vertiente sur de la cordillera está mucho más aislada y menos desarrollada que el resto del sector.

La densidad poblacional es de 15-30 habitantes por km<sup>2</sup>. La relación de la población económicamente activa con respecto al total de la población es del 25% - 40% la que se dedica fundamentalmente a los servicios, puesto que en el área de la propiedad está bastante bien desarrollada la industria turística, pero en la zona recreativa de Santiago de Cuba ( Parque Baconao) con lugares de interés histórico, paisajes naturales y playas de escasa calidad, vírgenes y con instalaciones hoteleras.

En la margen del Mar Caribe es donde se desarrolla fuertemente la industria turística: a lo largo de la costa se encuentran los complejos hoteleros de Bucanero, Balneario del Sol, Los Corales y Carisol y los hoteles Daiquirí y Juraguá así como otro grupo de



instalaciones de menor tamaño para la práctica de la caza y la pesca en cotos preparados para el disfrute solamente del turismo internacional. Además el turismo nacional disfruta del Campismo Popular en cabañas rústicas y en otras instalaciones separadas al respecto. Adicionalmente se encuentran otra serie de instalaciones de recreación turística como son: Acuarium, Centro de Capturas de Delfines, Parques Infantiles, Restaurantes, Centros de Buceo y Deportes Náuticos y Villas de Artesanos la gran mayoría de ellas dirigidas solamente al turismo internacional.

En la región esta asegurada por cierto la fuerza de trabajo necesaria para enfrentar los trabajos de prospección.

Pese a que los alrededores de la Gran Piedra son una reserva de la biosfera, la zona de conservación no coincide con las partes más perspectivas de la propiedad, lo que no afectará grandemente la ejecución de los trabajos de prospección futura y la ulterior explotación en caso de resultar exitosas las búsquedas. Adicionalmente a esta razón, la Comisión Nacional de Medio Ambiente, está dispuesta a encontrar soluciones en común en caso de ser necesarias.

## **Constitucion Geológica Regional**

El carácter eminentemente volcánico de la mayor parte del terreno dónde se encuentra la propiedad, lo que provoca la ausencia de cortes continuos, es uno de los factores que complican la comprensión del corte estratigráfico de la región. Los otros factores se relacionan con la intensa tectónica, los procesos del metamorfismo local (fundamentalmente la skarnitización), y la falta de fósiles bien conservados.

Es comunmente aceptado por los geólogos que han trabajado en la región que las secuencias cretácicas presentes en ella no son más que bloques relictos del basamento cretácico que flotan dentro de las secuencias volcánicas del paleógeno. Sin embargo esta es la explicación más fácil del fenómeno: Vemos que autores como G. Kuzovkov durante sus trabajos desde 1984 hasta 1988 abogó por la presencia en algunos casos de ventanas cretácicas dentro de las secuencias volcánicas paleógenas, pero fue obligado a aceptar, la hipótesis sobre la carencia de un fundamento Cretácico en el área. Esta aceptación además lo obligó, en aras de explicar sus datos, a conformar grupos de secuencias efusivo-sedimentarias indiferenciadas como lo son el hoy famoso complejo básico tan vapuleado por los nuevos autores que enfrentan la interpretación geológica regional.

Tampoco se ha tenido suficientemente en cuentas la contribución que el análisis de las estructuras vulcano - tectónicas podría significar para la comprensión de la estratigrafía del área.

Otros investigadores, dentro de los que nos incluimos en diferentes formas, pensábamos como G. Kuzovkov y con el aumento de la información y su estudio hemos mantenido una posición bastante distante respecto a la exactitud de los cortes estratigráficos aprobados, principalmente por la falta de buenas correlaciones entre los datos estratigráficos y los geofísico - geoquímicos. Hasta el momento en que un esquema convincente sea propuesto y suficientemente comprobado en el campo y producto de la desaparición de la mayor parte de la información recopilada durante los serios trabajos de levantamiento geológico a escalas 1:100000 y 1:50000 de la Sierra Maestra (1969 -1988), lo que hace poco creíble cualquier esfuerzo recopilador-reinterpretador de los datos(?), hemos



utilizados en el campo los esquemas propuestos por los autores hasta dónde ellos no impliquen un posible error en el análisis metalogenético en los pequeños sectores aledaños a los yacimientos, manifestaciones minerales y los puntos de mineralización.

En ningún caso los trabajos de revisión realizados han estado dirigidos a aclarar ninguna de las hipótesis geológicas o dudas existentes sino sólo a demostrar la capacidad aurífera de tal o cuál secuencia estratigráfica ?, litología o proceso de alteración primaria o secundaria.

El corte estratigráfico del sector está incluido dentro de lo que se conoce, según E.Linares 1986, como Zona Maniabón-Nipe-Sierra Maestra, Subzona Sierra Maestra.

El inicio del desarrollo de la Sierra Maestra se vincula con el Subgrupo Inferior del Grupo El Cobre, petrológicamente basáltoide. La Fm. Cobre se forma sobre esa superficie volcánica basáltoide. El ambiente de arco de islas queda bien mostrado en la asociación existente entre los paquetes fliohoides efu-sivo-sedimentarios y el vulcanismo más ácido. Al parecer el corte de la Fm. Caney indica un ritmo más reducido que empieza también con un vulcanismo ácido-medio y que presenta de manera mucho más subordinada la presencia del vulcanismo ácido pero muy marcadamente una amplia manifestación de la mineralización manganífera.

Las rocas calcáreas de las formaciones Puerto Boniato y Charco Redondo marcan el fin de la etapa volcánica y la formación terrígena San Luis indica la presencia de un ambiente subplatafórmico orogénico tardío. A partir de este nivel todas las formaciones pertenecen a la etapa subplatafórmica de edad neógeno-cuaternarias.

Como ya expresamos G. Kuzovkov 1988. describió de forma global los complejos vulcanógenos no estratificados vinculándolos paragenéticamente con las secuencias estratigráficas, de esa manera enlazó al subgrupo inferior del grupo El Cobre al complejo basáltico de la misma edad y a la formación Cobre con el complejo riodacítico.

El carácter de la revisión regional efectuada, se dirigió fundamentalmente a la localización de depósitos epitermales de oro y la carencia de información acerca de la existencia en el sector de depósitos estrato-controlados hace que en la etapa actual de la prospección sólo se le preste a la estratigrafía un carácter subordinado.

Es criterio de la mayoría de los autores que han investigado la Sierra Maestra que sus rocas intrusivas y volcánicas se encuentran paragenéticamente vinculadas, formando una asociación plútono-volcánica con todas las fases que la caracterizan. Se considera asimismo que el magma originario que la generó fue tholeítico-basáltico.

En la región que conforma la propiedad, las secuencias intrusivas conforman un cuerpo intrusivo irregular que se extiende a lo largo de la costa sur oriental del sector por cerca de 20 km. o más con un ancho que puede ser localizado en superficie entre los 2.0 y 5 km. Ambas dimensiones son discutibles a partir de los datos de la interpretación geofísica, donde las dimensiones calculadas por la extensión en profundidad del plu-tón son algo mayores: por su extensión, el intrusivo Daiquirí puede ocupar toda la parte litoral de la propiedad, más de 30 km. con un ancho máximo de 6-7 km.





En la periferia del macizo Daiquirí se observan toda una serie de pequeños cuerpos satélites cuyas partes apicales afloran entre las secuencias efusivo-sedimentarias y volcánicas.

En su conjunto el macizo está constituido por diferentes facies de las rocas lo que indica una evolución compleja durante su emplazamiento, asimismo, pueden observarse rasgos morfológicos inequívocos de una serie de cúpulas con ruptura semi anular que hablan sobre la presencia de estructuras plutono-volcánicas cercanas a la superficie. Todo este conjunto de las rocas intrusivas afloradas en las partes más erosionadas del macizo, los cuerpos satélites en forma de necks y las estructuras cúpuliformes conforman el macizo Daiquirí, cuya parte central de dirección NO-SE tiene forma anticlinal.

El cuerpo intrusivo está constituido en su mayor parte por rocas ácidas tonalítico-plagiograníticas, con una edad en su conjunto que se considera perteneciente al Eoceno Medio. Por su compleja constitución interna se encuentran de forma subordinada rocas de composición medio-básicas gabro-dioríticas.

Los contactos nortes del intrusivo son según datos geofísicos de carácter subvertical mientras que los sureños no pueden interpretarse, pues se extienden más allá de la faja costera. La presencia de xenolitos de las rocas encajantes y bloques flotantes de ellas sobre el complejo techo del intrusivo, indican un no muy alto nivel de erosión. R.Rodríguez 1987 dividió el conjunto de las rocas intrusivas en dos complejos: temprano; El Norte y tardío; Daiquirí.

El complejo El Norte constituye la periferia del macizo, mientras que el complejo Daiquirí constituye su mayor parte. El primero está representado por rocas de la asociación gabro-diorítico-plagiogranítica y el segundo por rocas de la asociación tonalito-plagiogranítica de las series sódica y sódico-potásica respectivamente. Ambos complejos fueron subdivididos en cuatro distintas fases.

La concesión SMOR está situada exactamente al norte de la gran falla de transformación Caiman-Bartlett lo que hace que sea una zona sísmicamente activa. Los sismos tienen una intensidad máxima de 3-5 grados en la escala Richter.

La estructura tectónica principal del sector, el monoclinal de la Sierra Maestra incluye la parte más montañosa del sector, que es el horstanticlinal Gran Piedra, la que limita al norte con el Sinclinorio Oriental en el graben sinclinal Songo-La Maya y al este y oeste con las cuencas de Guantánamo y Santiago de Cuba respectivamente.

La interpretación de la tectónica incluye la presencia de tres pisos estructurales relacionados con las principales formaciones del área: piso inferior; Jurásico inferior-Cretácico superior, medio; Paleoceno-Eoceno medio y superior; Eoceno medio-Holoceno.

Las formaciones del piso medio, paleógeno, determinan la estructura tectónica principal de la región sobre las que flotan las estructuras del piso medio ( para estar de acuerdo con la concepción de G. Kuzovkov ) mientras que el piso superior lo ocupan las formaciones calcáreas y terrígenas más jóvenes.

Se considera que existen dos grupos de fallas de diferentes edades: Eoceno medio y Eoceno medio tardío, las primeras son las fallas profundas Sierra Maestra, Siboney y





Daiquirí directamente relacionadas con la estructura vulcano-plutónica Sierra Maestra y las segundas más superficiales y con dirección predominante NO y sublatitudinal por ejemplo Baconao, El Indio, Gran Piedra, Sigua. Existen otros tipos de fallas secundarias de otras direcciones que determinan la estructura de bloques de la región.

La inmensa mayoría de las fallas de la región son normales o con pequeños desplazamientos horizontales.

Las principales estructuras tectónicas de la región son las paleovulcano-tectónicas y por su relación con la mineralización en el área han sido consideradas continuamente durante la etapa de revisión y prospección en las zonas de interés.

Magnéticamente la propiedad puede ser subdividida en tres zonas de diferentes características: los mayores valores, más de +500nT se relacionan a las rocas del intrusivo Daiquirí, (las anomalías locales del orden de los miles de nT. se relacionan sólo con los procesos de skarnitización y los depósitos de minerales magnéticos); los valores del campo magnético variable de órdenes entre las -100nT. y las +500nT están relacionados los mayores con el complejo basáltico y los menores con el complejo riodacítico y los procesos de alteraciones hidrotermales y por último el campo magnético tranquilo, preferentemente negativo se vincula con el área de desarrollo de las secuencias terrígenas y terrígeno-carbonatadas hacia la parte norte del área.

Los mayores valores de la susceptibilidad magnética de las rocas lo poseen las rocas del complejo básico y las rocas intrusivas que al mismo tiempo son las rocas de mayor peso específico; de modo alterno, las rocas del complejo riodacítico son las más radioactivas de todas las secuencias producto de su composición más ácida.

La región de la Gran Piedra no difiere en nada en cuanto a sus características geofísicas del resto de la estructura Sierra Maestra.

Para enfrentar la tarea planteada se recopiló toda la información sobre la mineralización detectada en el sector durante todas las investigaciones precedentes, listándose un catálogo de puntos de mineralización, manifestaciones minerales y pequeños yacimientos que fueron uno por uno remuestreados en diferentes medidas en dependencia de sus posibilidades auríferas. Se revisaron además las zonas de alteración hidrotermal cartografiadas y en muchos casos se encontraron otros puntos mineralizados asociados a los conocidos o de nueva aparición.

Los recursos minerales evaluados se relacionan principalmente con los Campos Minerales de el Hierro-Santiago y Cristo-Ponupo-Sultana, algo más al norte. El primero como su nombre lo indica relacionado con menas de Skarn Magnetítico y el segundo con menas de Manganeseo.

Anécdotas de muchos pobladores de la región dan fe sobre la extracción de otros minerales como oro y plata en la región de La Begoña, plata en zona de Sigua y cobre en Santa Ana, El Silencio etc. de la que son testigos muchos laboreos mineros abandonados y en muy pobre estado de conservación dado lo rudimentario de sus construcciones y sus edades.

En la parte sur de la propiedad sobre las rocas dioríticas del macizo intrusivo Daiquirí se desarrollan las arenas de intemperismo las que se explotan de forma industrial.



Asimismo se explotan las calizas de la formación Maya en el límite oriental del sector, y artesanalmente algunos hornos para la confección de ladrillos para las construcciones de casas.

En la región de Sigua se evalúan reservas de rocas ornamentales aunque su calidad lamentablemente está muy disminuída por su agrietamiento algo parecido a lo que le sucede a otros sectores del intrusivo Daiquirí dónde fueron evaluadas las granodioritas para tal fin.

Las reservas totales de arenas de intemperismo sobre el intrusivo Daiquirí ascienden a 10 000 Kton. con posibilidades de extensión hasta 20 000Kton. La explotación de las calizas de la fm. Maya es intermitente dependiendo de las necesidades de la industria.

Pese a que es escasa la posibilidad de vínculo entre las mineralizaciones de Manganeso y Oro, durante el estadio regional no se desaprovechó la oportunidad de la revisión de los principales yacimientos de manganeso del sector. Los estudios anteriores realizados para la evaluación de los recursos de manganeso en algunos sectores han arrojado la relación entre el yacimiento Sultana ( Barrancas ) situado en la parte norte de la elevación braquianticlinal Ponupo con otros yacimientos de este campo menífero como: El Quinto, Tordera, Santa Margarita, Botsford, San Ricardo, Sabanilla etc. La mayoría de ellos yacen en la parte superior del corte de la Fm. El Cobre y están relacionados con elevaciones cúpuliformes. En el núcleo de ésta macroestructura afloran los depósitos de las formaciones El Cobre y Puerto Boniato (calizas), los que son cubiertos hacia los flancos por depósitos más jóvenes de la Fm. San Luis. Existe todo un horizonte estratificado mineralizado constituyendo un yacimiento único Ponupo-Sultana.

La zona mineralizada está formada por cuerpos en estratos concordantes a las rocas de caja formadas por tobas y tobas calcáreas del Mb. El Quinto. La yacencia de las rocas es suave, entre 5°-10° y hasta 20° máximo. Entre los cuerpos el contenido promedio de los óxidos de manganeso es del 57%. Los minerales principales lo son la pirolusita y el psilomelano y la manganita con intercalaciones estériles de bayates no mayores de 1 m. de potencia. En general el tipo genético de los yacimientos descritos es vulcanógeno sedimentario.

En ningún caso se obtuvo resultados relevantes en los contenidos de oro en las muestras tomadas en los puntos de mineralización de manganeso

En la región de la Gran Piedra entre yacimientos, manifestaciones y puntos de mineralización eran conocidos 221 puntos de hierro, cobre y manganeso. Además existen otros tipos de minerales de interés, cuya mayor parte no alcanza la categoría de depósito económico. La variedad y riqueza de la mineralización en la región (según G. Kuzovkov et. al. 1987 y R. Sánchez et.al.1984,1991) pueden ser observados en la tabla I siguiente:

Tabla I. Listado de la cantidad de puntos de mineralización conocidos en la concesión Sierra Maestra Oriental.

TIPOS DE MINERALES UTILES	CANTIDAD DE YACIMIENTOS MINERALES	CANTIDAD DE MANIFESTACIONES MINERALES	CANTIDAD DE PUNTOS DE MINERALIZACION
HIERRO	9	17	46



MANGANESO	4	20	17
COBRE	-	4	86
COBRE-MOLIBDENO	-	-	1
PLOMO	-	-	1
COBRE-PLOMO-ZINC	-	-	4
CARBON	-	-	4
CALIZAS	1	5	1
MARMOL	-	1	1
MARGAS	1	-	-
ARENA	2	-	-
ROCA ORNAMENTAL	1	1	-
YESO	-	-	1
CAOLIN	-	-	1
BARITA	-	-	4
ZEOLITA	-	-	4

Por todas las características expuestas la concesión SMOR cumplía todas las condiciones para convertirse en un buen blanco de prospección en una zona de rica tradición minera.

#### **Materiales Analizados.**

Se contaba con todos los reportes de las investigaciones precedentes, con los que se logró realizar una compilación adecuada de los datos. Se rescataron algunos duplicados de muestras de algunos sectores interesantes los que se reanalizaron consecuentemente para determinar sus contenidos de oro con métodos de absorción atómica.



Para enfrentar las tareas de la revisión de los puntos de mineralización y las zonas perspectivas se organizó una comisión de trabajo con base central de operaciones en la ciudad de Santiago de Cuba. El orden de la revisión fundamentalmente se realizó de Oeste a Este aunque en ciertos momentos bajo situaciones climáticas adversas se cambió este sistema para aprovechar el tiempo de trabajo.

- Se seleccionaron grupos de puntos de mineralización cercanos que pudieran vincularse a una situación geológica parecida.
- Se realizó la preparación previa del trabajo con todos los datos existentes, marcándose las posibles fallas, contactos litológicos principales, variedades litológicas, anomalías geoquímicas y geofísicas, zonas de alteración hidrotermal y otros datos referentes a laboreos antiguos etc.
- Localización del punto de interés en el terreno. A esta labor corresponde la mayor dificultad y utilización del tiempo de prospección producto que las coordenadas de los puntos estaban amarradas a una escala 1 : 50 000 en cartas de igual escala sin actualizar en una zona de relieve desmembrado y sin otro anclaje que la brújula y la experiencia del geólogo.
- Itinerarios de revisión y muestreo del sector escogido. Amarre de los itinerarios y el muestreo.
- Si los resultados lo ameritaban, se realizan itinerarios complementarios para aumentar la densidad del muestreo, y obtener ideas adicionales sobre la estructura geológica.
- Trabajos de prospección de trazado de líneas, muestreo metalométrico o de aureolas primarias, trabajos de polarización inducida.
- Comprobación de las anomalías, zonas de alteración y cuerpos minerales etc. en la profundidad mediante la perforación.

La mayor parte de la información geológica se ha volcado en los mapas y planos de manera semiautomática a partir del dato de la muestra tomada e incluida en la base de datos a medida que se avanzaba en el muestreo.

## PRINCIPALES RESULTADOS

Pese a lo exitoso de los trabajos de revisión regional de la concesión SMOR, en este trabajo solo nos referiremos de manera general a 3 de ellos, cuya ubicación general puede ser observada en la figura 1:

- 1- Descubrimiento de la auriferidad de las skarnes del depósito de hierro Antoñica.
  - a. Exitos en el reanálisis de los materiales y duplicados de algunas muestras de perforación en el depósito de hierro Antoñica.
  - b. Exitos en la localización de paquetes de rocas skarnitizadas con contenidos industriales de oro.
- 2- Descubrimiento del pequeño depósito de oro de Sigua y sus zonas perspectivas aledañas.



### 3- Localización de anomalías HEM vinculadas a la aparición de mineralización de Cobre en el N de la Gran Piedra

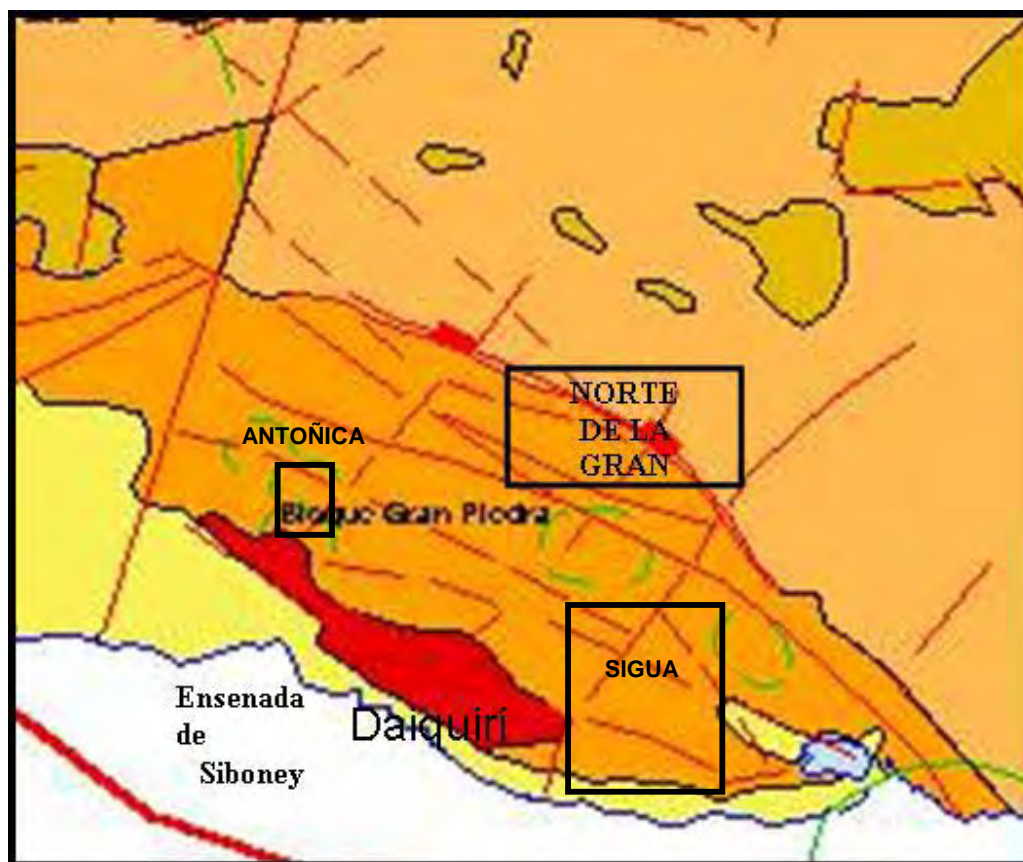


Figura 1. Ubicación espacial de los tres sectores donde se ejemplifican los éxitos logrados durante la comprobación regional.

#### 1-. Descubrimiento de la auriferidad de las skarnes del depósito de hierro Antoñica

a. Exitos en el reanálisis de los materiales y duplicados de algunas muestras de perforación en el depósito de hierro Antoñica.

Los trabajos en la concesión SMOR comenzaron en Octubre de 1993 precisamente con la compilación de los datos de la región de La Gran Piedra y la localización de los duplicados de las muestras de análisis espectrales o químicos de las perforaciones realizadas durante los últimos 10 años en el área del campo mineral Hierro Santiago.

La localización de la información y sobre todo de los duplicados de las muestras dado lo dispersa y desorganizada que se encontraba requirió de gran cantidad de tiempo y esfuerzo. Se localizaron y recuperaron más de 2000 duplicados de laboratorio los que fueron puestos aptos para analizar. Del total de muestras fueron enviados para su reanálisis 256 duplicados fundamentalmente correspondientes al yacimiento Antoñica los que fueron localizados en diferentes dependencias de la Empresa Geominera Oriental, principalmente la Casa de Muestras de El Cobre y el Laboratorio Elio Trincado. Por suerte la mayor parte de las muestras duplicadas mejor conservadas fueron los del yacimiento



Antoñica uno de los objetivos principales del Proyecto dadas las ideas sobre la posible capacidad aurífera de sus skarnes, los más contaminados de sulfuros.

Fueron seleccionadas las muestras bien conservadas sin ningún signo de contaminación por las roturas de sus envases y la acción de la lluvia y los roedores y las que podían ser bien identificadas por la conservación de su rotulado. Esta selección mermó en gran medida las muestras a utilizar pero brindó la oportunidad de un análisis veraz al menos en cuanto a la seguridad de la caracterización de la muestra.

El reanálisis de la información está referida fundamentalmente al yacimiento Antoñica donde realmente se obtuvieron resultados interesantes pese al riesgo enorme que se corre al utilizar un muestreo/elaboración realizado con un objetivo y para y con una tecnología con otro objetivo y para otra tecnología.

A partir de los resultados de los reanálisis de los duplicados rescatados se detectaron en el sector anomalías de oro de pequeña intensidad en los pozos perforados de hasta 600 ppb. pese a los problemas conocidos de no adecuada preparación de las muestras y del muestreo en sí. Los valores máximos de oro obtenidos alcanzan hasta 3.2 g/ton.

Durante la reinterpretación de los datos encontramos que de los 81 pozos perforados, 62 tenían de una u otra manera resultados intermitentes de análisis de aurometría, la que por su escasa confiabilidad solo se utilizó de forma orientativa. De una cantidad de 750 análisis aurométricos pedidos por los entonces responsables de la investigación, los Ings. Pedro Ferro y Estela Rodríguez, 316 dieron valores por encima del umbral de percepción. La distribución de los valores posee una media de 0.17 g/ton, tablll. Estos resultados de aurometría no fueron analizados en el informe correspondiente con el propósito de la evaluación de su potencial aurífero al parecer por su tardío arribo, pero sí demuestran una gran sagacidad de los ejecutores de la prospección en cuanto a la sospecha sobre la auricidad de los skarnes. La preparación de las muestras y la tecnología atrasada utilizada no les acompañó y la falta de obligatoriedad de la tarea geológica a cumplir, estrechamente dirigida a la prospección de hierro y el retraso en la obtención de los resultados hizo que no se incluyeran en el informe análisis a ése respecto.

Del reanálisis de la información existente en cuanto a la presencia de mineralización sulfurosa y resultados de aurometría se obtuvo el mapa geológico generalizado del depósito con la identificación de todos los pozos. (positivos, negativos y no muestreados), la proyección generalizada de los cuerpos cupríferos ( números 10, 11 y 21 ) sobre la superficie con la media ponderada de los contenidos por pozos y los cortes geológicos generalizados del depósito en escala 1:1000 ( total 4 ) con la localización de los cuerpos magnéticos y sus contenidos correspondientes de oro, azufre y cobre. Según estos mismos datos los mejores resultados se agrupan en los cuerpos minerales 10, 11 y 21 donde en los pozos 350 y 310 por ejemplo se observan contenidos de 1.0 g/ton. de oro con una potencia de 11.15 m. y 0.7 g/ton. con potencia de 4.85m. respectivamente. No se halló correlación entre los resultados de cobre y los de oro. Figura 2.

El reanálisis mineragráfico de casi 20 secciones pulidas logró la detección de electrum en los pozos P-368 a los 74,2 m. y el pozo P-369 a los 30,0 m. de profundidad respectivamente.





Lo más importante de este trabajo es que permitió sin dudas y por primera vez confirmar la relación existente entre la mineralización de skarn magnetítico y la mineralización aurífera. El muestreo insuficiente y las técnicas imprecisas de análisis impidieron conocer el corte verdadero de los cuerpos auríferos del depósito, empero testifican dada la correlación entre los datos de algunos pozos sobre la real existencia de oro en Antofa.

Tabla II. Valores promedio de los resultados de los análisis auroespectrales en los pozos de Antofa en g/ton.

POZO	Au/n	POZO	Au/n	POZO	Au/n	POZO	Au/n
300	0.15/5	322	0.1/1	344	0.02/2	366	-
301	0.09/14	323	0.1/6	345	0.15/9	367	?
302	0.17/11	324	0.1/5	346	0	368	?
303	0.15/3	325	0.11/14	347	0.04/12	369	?
304	0.12/3	326	0.09/6	348	0.08/13	370	-
305	0.27/5	327	0.18/3	349	0.09/2	371	-
306	0.7/1	328	0.27/17	350	0.4/10	372	-
307	0	329	0.07/8	351	-	373	?
308	0.24/18	330	0.07/4	352	0.24/7	374	-
309	-	331	0.09/11	353	0.07/5	375	-
310	0.34/12	332	0.11/6	354	0.11/4	376	-
311	0.76/5	333	0.09/5	355	0.1/7	377	-
312	0.06/2	334	0	356	-	378	-
313	0	335	0.2/17	357	0.13/3	379	-
314	0.13/3	336	-	358	0.17/8	380	-
315	-	337	0	359	0.18/3	381	-
316	-	338	0	360	0.3/4	382	-
317	0	339	0.12/3	361	0.2/4		
318	0.11/11	340	0.05/1	362	0.08/2		
319	0.34/9	341	0.05/5	363	0.1/3		
320	0	342	-	364	-		
321	-	343	0.15/9	365	0.07/3		

n = 335

$\bar{x}^* = 0.17$  g/t

- n . . . . Cantidad de análisis positivos  
 0 . . . . Pozos sin resultados positivos  
 - . . . . Pozos sin análisis auroespectrales  
 Area rayada . . . . Pozos con resultados positivos en el remuestreo (etapa complementaria)  
 \* . . . . En el calculo se incluyeron los Pozos 307, 313, 317 y 351

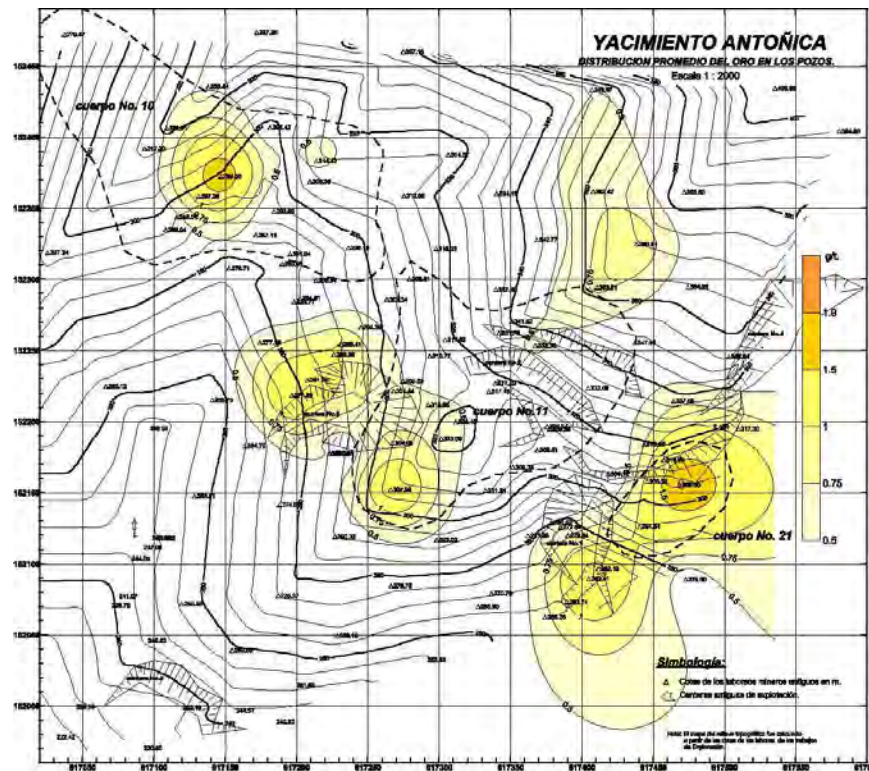


Figura 2. Mapa de los contenidos de oro (espectrales) detectados en los cuerpos magnéticos del depósito Antoñica.

Puede considerarse que el descubrimiento de la auriferidad de los skarnes de Antoñica fue realizado en dos fases, la primera de las cuáles incluyó la revisión del material primario y la comprobación de la existencia de anomalías espectrales de oro en algunas muestras de menas de hierro del depósito, lo que estaba en relación con la detección de electrum que se había reportado en ellas (Santa Cruz Pacheco 1987), empero era meneser demostrar la existencia de ese elemento en las grandes potencias de skarnes, fundamentalmente granáticos, del depósito para que dadas los fuertes espesores de estos, pudiese justificarse la continuación de la prospección exploración y la explotación.

b. Exitos en la localización de paquetes de rocas skarnitizadas con contenidos industriales de oro.

En el campo se localizaron las trincheras realizadas en el estadio de exploración y se analizaron conjuntamente con los resultados de los duplicados de las muestras de éstas encontradas anteriormente. En dos de las trincheras reanalizadas se obtuvieron valores de hasta 2 g/ton. Lo curioso del resultado radica en que todos los valores positivos se agrupan al SW del centro del yacimiento, cercano a las rocas intrusivas y donde al parecer son mayores las potencias de las secuencias skarnitizadas. En general los valores oscilan alrededor de los 200 ppb. Los resultados del remuestreo de las cercanías de éstas trincheras no se alejan de ese mismo valor.

La continuación de los trabajos de muestreo de los afloramientos de skarn tuvo su recompensa cuando en la cantera no.3 del sector al W del área se detectaron valores de hasta 2.6 g/ton. en la misma dirección ya mencionada.



A lo largo de esta faja también se encuentran los principales cuerpos de skarn magnetítico y magnetita del yacimiento, desde el pozo 328 al NW hasta el pozo 315, 200 m. más hacia el SE. Esta zona posee un ancho de 100 m. aproximadamente y las potencias del skarn más las menas de Hierro alcanzan valores cercanos a los 50m. Se observa una fuerte correlación morfológica entre los cuerpos con valores interesantes de oro y las menas de Hierro. En la Figura 3 pueden observarse las fuertes potencias de skarn presentes en los cortes del depósito Antoñica y la importancia que tendría dentro de ellas contornear los cuerpos auríferos.

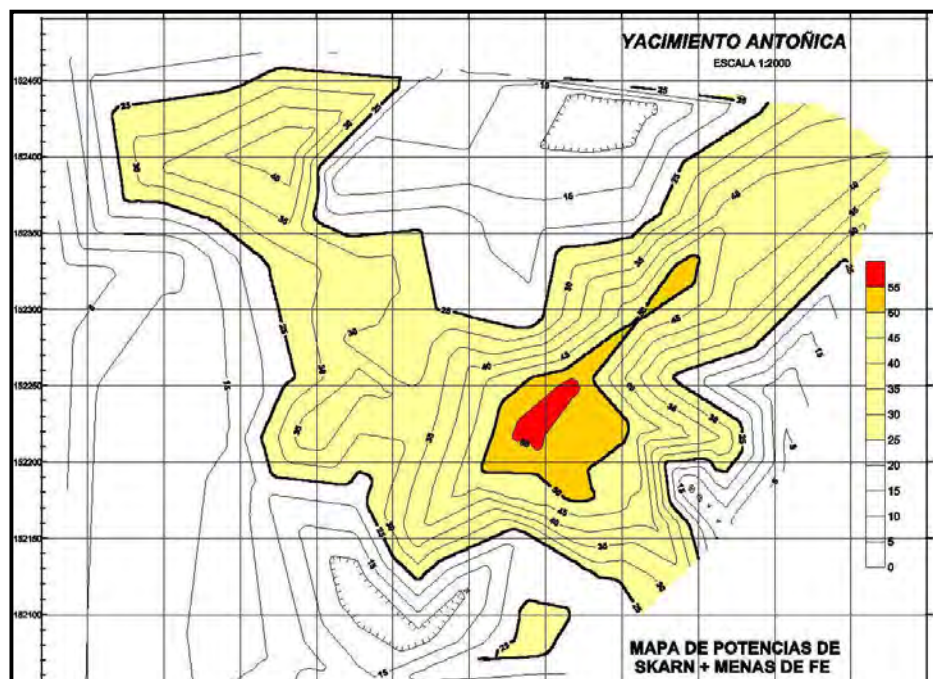


Figura 3. Potencias de Skarn + Zona de Mineralización magnetito-hematítica con oro del depósito de Hierro Antoñica.

Muy cercano al pozo 343, aproximadamente a 40 m. al oeste, se encontró en el lecho de un arroyo un paquete de tobas skarnitizadas que sobreyacen un cuerpo sulfuroso, fundamentalmente pirítico con algunas partes con malaquita. El cuerpo, con cerca de 0,5 m. de potencia está parcialmente muy oxidado. El efecto es muy local, no pudo encontrarse su continuación en los alrededores del punto descrito, pero lo más interesante de este resultado es la ubicación espacial de todos los indicios hacia el flanco SW del yacimiento, dónde mejor se desarrollan los procesos de skarnitización.

La localización con certeza de contenidos industriales de oro en los afloramientos de skarn, cuyas potencias han sido cortadas por trabajos de exploración anteriores, pero que no se habían analizado fue la comprobación de las ideas acerca de la posible auricidad de los skarnes de Antoñica. Los contenidos apreciable dada la potencia de los paquetes skarnitizados, hablan sobre la perspectiva del depósito, para este elemento.

La continuación de las zonas de alteración detectadas hacia el norte de Sevilla y el hecho de no haberse realizado las 3 perforaciones de comprobación propuestas hacen que el prospecto aurífero de Antoñica siga teniendo una gran actualidad a la hora de enfrentar el



plan de desarrollo del oro en Cuba. En la tabla III se muestran los principales resultados del muestreo de spot para la determinación de los contenidos de oro en los skarnes.

Tabla III. Principales resultados del muestreo de afloramientos para la determinación de los contenidos de oro en los skarnes en el depósito Antoñica.

SECTOR	AREA Ha.	CANTID. DE MUEST.	VALORES ANOMALOS	VALORES DE INTERES	OBSERVACIONES
ANTOÑICA (3-I)	450	317	Au>200 (24)  Au>1g/t (4)  Ag>3g/t (35)	Au>5 (165)  Ag>1g/t (58)	Perspectivo  MAX Au-2.6 g/t  Ag-43 g/t

En la figura 4 a continuación se observan en círculos de color naranja las muestras con contenidos de más de 500ppb.

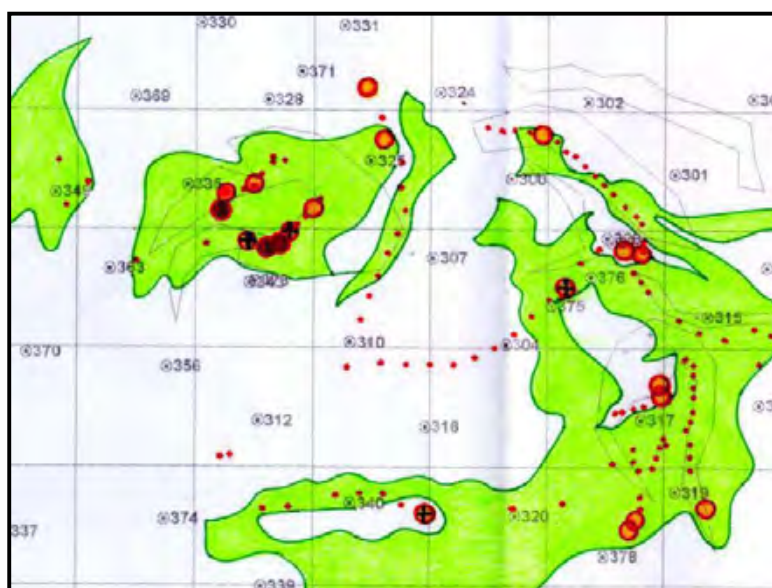


Figura 4. Desarrollo superficial de los afloramientos de skarn (verdes), y los resultados del análisis de los contenidos de Au en las muestras de afloramientos en Antoñica.

## 2-. Descubrimiento del pequeño depósito de oro de Sigua y sus zonas perspectivas aledañas.

En el sector Sigua se realizaron trabajos de prospección entre los años 1986-87 los que incluyeron principalmente trabajos geoquímicos y de polarización inducida. Como se ha demostrado durante los trabajos actuales el sector escogido entonces no era el más interesante. Debe destacarse que en ningún caso existe relación entre el sector Sigua declarado como área de búsquedas en los trabajos de G. Kuzovkov et.al. 1988 y el área





de La Cantera dónde CaribGold Mines realizó sus perforaciones: ambas son áreas cuasiadyacentes.

En Sigua las rocas más extendidas son las tobas y lavas de composición riodacítica (riolítica), desde ignimbritas hasta porfiritas de la formación Gran Piedra. Subordinadamente se desarrollan las tobas y lavas andesíticas y basálticas; mucho más limitadamente se hallan las tobas de la Fm. La Linner. Los plagiogranitos más hacia el sur marcan el contacto con el intrusivo Daiquirí. Hacia el NE de Sigua finalmente se han encontrado pequeños cuerpos satélites de dioritas y dioritas de aspecto porfírico que no habían sido mapeados anteriormente. Todas las secuencias presentan en mayor o menor medida fuertes cambios hidrotermales hasta la etapa argílica avanzada.

A lo largo del cauce del arroyo cercano al pozo SG-1 se realizó el muestreo de surco de un afloramiento natural: el surco A-1 pese a tener sólo 2 ó 3 intervalos con contenidos de oro entre las primeras centenas de ppb. tiene un intervalo productivo de 2420 ppb. con 3m. de potencia. Esa misma zona se revela en el mapa de polarizabilidad con valores de 2.4% y 2.5% de ha.

Un poco más hacia el ENE, a 40m. al norte del pozo SG-1 se obtuvo un resultado de 8300 ppb. en una muestra de 2m. de ancho rodeado de valores del orden de la primera centena de ppb. En total los resultados no confirmaron en superficie las expectativas sobre esta zona.

Las menas auríferas del sector de La Cantera-Sigua están representadas por una mineralización de anglesita - cerusita, las rocas de cambio están fuertemente silicificadas y oxidadas llegando a ser ocre de intenso color amarillo, típicos de los óxidos de plomo. Las zonas mineralizadas pueden tener entre 1-2 m. de potencia visible y se extienden por el azimut 330°- 340°. El cuerpo mineral tiene la forma de un mineral de color blanco confundible con la barita dado su alto peso específico y que contiene barita y anglesita en mayor cantidad y cerusita en cantidad subordinada. La fracción pesada de una muestra tomada de la mena en la clase de 0.25 mm. (según Marisol Rodríguez 1995) dio 58% de barita, y 36% de anglesita; en la fracción electromagnética las cantidades fueron de: anglesita 60% y barita 15%. La anglesita a veces se altera a cerusita.

En los mapas de PI se detectan anomalías no muy intensas de cargabilidad que mapifican las zonas de alteración cercanas al pozo SG-1 y comprueban la dirección de las menas que se hallan en La Cantera, sin embargo, la zona de alteración y el cuerpo mineral principal allí se cartografiaban como un mínimo de cargabilidad lo que es a todas luces un resultado lógico conociendo que los minerales que componen la mena son sulfatos, carbonatos etc. los que no se polarizan. El cuerpo mineral está flanqueado por una zona de cuarcificación y silicificación.

Los resultados de la geoquímica revelan una serie de pequeñas anomalías complejas, bastante estrechas y alargadas de los elementos Au, Ag, Pb, Ba y Cu, fundamentalmente, con dimensiones entre los 500 - 600 m. de largo y los 50 - 100 m. de ancho.

En las zonas paralelas que se encuentran al sur de La Cantera predominan la baritina y las zonas de silicificación con sulfuros diseminados, principalmente pirita y calcopirita; subordinadamente anglesita.



Lamentablemente pese a la perspectiva a priori de los resultados evaluados, las perforaciones realizadas no fueron en general exitosas producto de la premura para tratar de obtener un buen resultado que generara créditos frescos a las compañías involucradas, pero del análisis de la tabla IV puede desprenderse que las grandes potencias de rocas alteradas cortadas no hacen del todo negativo el trabajo, un análisis más detallado puede todavía llevar a la localización de la mineralización primaria.

Tabla IV. Características de las perforaciones en La Cantera/Sigua.

DATOS DE LOS POZOS				
Pozos	Azimet (°)	Angulo (°)	Profundidad (m)	Zona de Alteración (m)
SG-1	280	50	62.70	38.70
SG-1A	280	75	85.50	27.00
SG-2	260	50	153.00	95.50
SG-3		90	59.60	53.60
SG-3A	100	45	89.00	57.00
SG-4	255	50	73.00	19.80
SG-4A		88	97.50	54.00
SG-5	260	50	139.00	80.00
SG-5A	220	45	100.00	83.50
SG-6		90	59.50	34.50
SG-7	270	54	130.30	102.50
SG-8	80	50	77.30	29.80
SG-9	220	50	63.00	27.70
SG-10	260	50	109.00	75.80
SG-11	200	45	94.00	42.80
TOTAL			1392.40	

En total se tomaron 719 muestras de pozos, pero los resultados obtenidos de las perforaciones realizadas no mostraron una continuación de los contenidos minerales en profundidad lo que le resta perspectiva al sector. Las zonas interesantes de alteración con mineralización diseminada de sulfuros están vacías y la pirita no se corresponde con al parecer ningún otro estadio de mineralización.

Por suerte la perspectiva del sector que se conoce como Sigua no se circunscribe solamente en La Cantera, y a principios de Febrero de 1995, a partir de la interpretación de los datos del vuelo aerogeofísico se encontró en el NE de Sigua un sector interesante que se enmarca aproximadamente entre las coordenadas X1: 637000; Y1: 142000, X2: 639000; Y2: 145000. En el plano regional este sector se encuentra hacia el ESE de Chálía y en el NE de Sigua, en él pueden observarse anomalías magnéticas positivas de baja a mediana intensidad, que pueden interpretarse como una anomalía circular positiva rodeando un centro menos magnético.

Esta distribución circular apreciable en el mapa magnético es menos destacada en los mapas EM. de las frecuencias 4000 y 890 Hz donde las anomalías tienen una dirección marcadamente sublatitudinal, con azimet de 310m.

En esta zona se cartografiaron las rocas de composición riodacítica del miembro Gran Piedra en la parte más sureña y las tobas desde aglomeráticas a psefíticas de La Linner hacia la parte norte. En los itinerarios de reconocimiento se detectó un pequeño cuerpo de dioritas cuarcíferas con una zona de alteración hidrotermal desarrollada en el





contacto con los aglomerados riolacíticos, dónde aparece una fuerte carbonatización, caolinitización, y presencia de hematización, epidotización y anfibolitización. El cuerpo de dioritas no fue cartografiado durante los trabajos del levantamiento, pero sí una anomalía de cobre de mediana intensidad con centro en X: 638690 y Y: 143630. Hacia el norte por el mismo camino, en los puntos con coordenadas X1: 638350; Y1: 144400 y X2: 638240; Y2: 145070 aparecen tobas de composición andesítica (?) cortadas por abundantes vetillas de carbonatos, cuarzo y epidota con caolinitización. Cercano a ambos puntos se localizaron diques de dacitas con 3 y 12 m. de potencia y elementos de yacencia 150m/70m y 340m/70m. El último punto coincide con una anomalía geoquímica de Pb, Ag y Cu.

En esta misma región pero hacia el SW, en el punto de coordenadas X: 638 000; Y: 143 000 y con azimut 300° - 310° aparecen dos anomalías EM. alargadas localizadas en el contacto entre las tobas aglomeráticas de composición riolacítica y las lavas de la misma composición. En sus inmediaciones se observaron vetas de cuarcitas hematizadas con baritina, calcopirita y pirita: al parecer las anomalías descritas tienen relación con las estructuras y zonas de fallas controladoras de la mineralización de la parte ESE. del sector Chalia, con abundante baritina y presencia de contenidos de oro de hasta 2.5 g/ton.

En la figura 5 se muestran detalles de los sectores interesantes solamente en los alrededores de La Cantera. En rojo aparecen anomalías del método de PI. Los círculos en rojo marcan los resultados de muestras con contenidos de Au>1.0g/T (ICP).

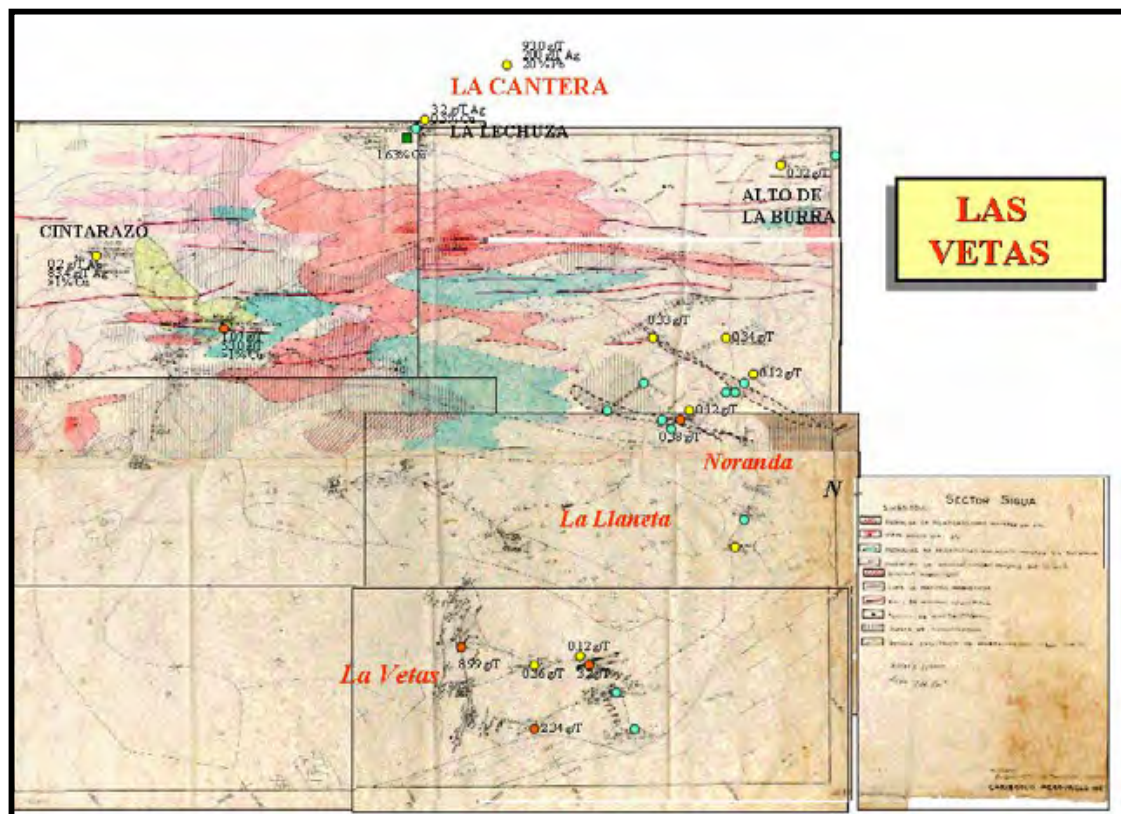


Figura 5. Detalles de las zonas más perspectivas de la parte sudoccidental de La Cantera.



El trabajo de verificación preliminar de las anomalías HEM se realizó en la No. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6B, 6E, 7, 7A, 8, 8A, 9A, 9B, 9C, 10, 11 y 12.

Algunas de las anomalías verificadas resultaron harto interesantes con contenidos elevados de oro y otros minerales y en ellas se encontraron una multiplicidad de factores favorables como son la existencia de fuertes zonas de alteración hidrotermal, aparición de mineralización metálica, restos de laboreos antiguos y otras, como no es el fin de este trabajo sino dar una panorámica del éxito de la revisión en toda la concesión SMOR, los trabajos más detallados pueden verse en Sánchez Cruz et al. 1997.

En general el sector Sigua está rodeado por una serie de prospectos como La Cantera y los alrededores del La Lechuza, Chalia, NE de Sigua, Alto de La Burra, Cintarazo, La Llaneta, Las Vetas, Noranda, Berracos, Cupey etc. Figura 5.

Tabla V. Resultados principales del muestreo para la evaluación de las perspectivas auríferas en la región de Sigua.

SECTOR	AREA Ha.	CANTID. DE MUESTRAS	VALORES ANOMALOS	VALORES DE INTERES	OBSERVACIONES
<b>SIGUA (1-I)</b>	1920	2050	Au>1000 (75) Au>5000 (30)	Au>50 (253) Au>200 (215)	Muy perspectivo MAX Au - 90.6g/t Ag - 448 g/t La Cantera 0.9x0.2 Km.

Sin embargo no fueron estas a anomalías HEM las que llevaron a los más importantes resultados, en nuestra opinión la detección de mineralización cuprífera ligada a la existencia de anomalías HEM en el sector Norte de La Gran Piedra rebasa la importancia de las anteriores por cuanto Sigua es un sector en general perspectivo y eran de esperarse esos resultados, sin embargo el área al N de La Gran Piedra no se caracterizaba hasta ese momento por su perspectividad.

### 3-. Localización de anomalías HEM vinculadas a la aparición de mineralización de Cobre en el N de la Gran Piedra

La zona al N de las grandes intrusiones granodioríticas que limitan el flanco S de las montañas de la Sierra Maestra como una barrera casi ininterrumpida, ha sido desde 1984 con el surgimiento de la hipótesis metalogenética N-S (R. Sánchez et al. 1984), punto de mira a la hora de evaluar prospectivamente cualesquier región del arco volcánico paleogénico de oriente, dado la potencialidad mineral para la aparición de depósitos de sulfuros que se brinda a esas zonas en la citada hipótesis: el mejor ejemplo de este concepto es el depósito El Cobre. La relación espacial de la mineralización sulfurosa con las intrusiones sureñas no es discutida casi por ningún estudioso del sector, empero su relación dual con otras fuentes magmáticas, ubicadas paralelamente al norte del AVP, sean parte de los primeros estadios abortados de este durante su corrimiento al sur o parte del AVC que los autores citados sospechan al norte, brinda otra nueva dimensión,



más perspectiva a la zona de vinculación del arco con el llamado sinclinal oriental, es en esa zona donde se centra la tarea que nos ocupa.

La región Norte de la Gran Piedra forma parte de este sector de articulación perspectivo y en él se conocían varios puntos de mineralización de cobre. en dicha región, "vinculados fundamentalmente con el Complejo Basáltico y con las tobas aglomeráticas del miembro La Linner"...

En el sector "Gran Piedra Norte" se revisaron 19 anomalías HEM. y 12 Puntos de Mineralización de Cobre los que en su mayoría se encuentran en los alrededores de las anomalías citadas. Se tomaron asimismo 161 muestras las que poseen resultados de ICP.

En la figura 6 se muestran los resultados principales de este trabajo, donde pueden ser observados los puntos de muestreo que resultaron favorables por sus contenidos anómalos de Cu. Se destacan solamente los puntos con más de 0.2 % de contenido. Los círculos de mayor diámetro y color verde oscuro, alrededor de 8 puntos, corresponden a lugares donde los contenidos de cobre oscilan entre 1% - 1.2 %. Es notable que las contenidos de Cu detectadas en el punto Humanidad, anteriormente conocido, fueron pobres. Lo más relevante de los resultados obtenidos es que las concentraciones interesantes se relacionan además con anomalías HEM detectadas durante los vuelos realizados, lo que magnifica su perspectiva.

En el N de la Gran Piedra fueron revisados los siguientes puntos: Puntos de mineralización 46, 49, 40, 65, y otros. A partir de las comprobaciones preliminares realizadas se observó relación entre las anomalías y la mineralización vetítica carbonato-cuarzo-hematito-cuprífera que abunda en el sector y que al parecer se vincula en mayor grado con las piroclastitas de La Linner y con el complejo basáltico. Al parecer las rocas menos perspectivas son las correspondientes al desarrollo del miembro Alto de Villalón. Durante el trabajo de verificación se detectó la mineralización de malaquita y de cobre nativo en brechas de matriz volcánica hematitizadas y carbonatizadas, algo silicificadas y raras veces caolinitización, que engloban fragmentos y bombas de basaltos y andesito basaltos con mineralización de cobre de los primeros metros de espesor, más esporádicamente se encontró galenita (anomalías 60 y 63) dentro de una zona que se ha dado en llamar Zona III, con unos 500m de espesor de alteración hidrotermal con puntos donde se observa abundante malaquita y cobre nativo, barita y perrotina por más de 1 Km. de extensión, en esta zona se encontraron dos socavones antiguos con longitudes de 10 m. y 6 m. respectivamente en los que apareció mineralización de calcopirita, pirita y carbonatos de cobre, la que en ocasiones puede ser intensa.

En el sector Gran Piedra Norte se reveló un solo punto interesante para la mineralización aurífera con alrededor de 800 ppb. de contenido de oro en los alrededores de la localidad conocida como Villanueva en el borde superior izquierdo del área mostrada.

Durante los trabajos de revisión se comprobaron las buenas perspectivas del sector para la aparición de mineralización cuprífera principalmente de carácter industrial vinculada fundamentalmente con el Complejo Basáltico y con las tobas aglomeráticas del miembro La Linner en aquellos lugares afectados por las fallas de dirección SE-NW a sublatitudinal.



Figura 6. Resultados de los análisis para Cobre en el Norte de La Gran Piedra.

La importancia de los resultados obtenidos, pese a que la ejecución de los trabajos de campo adoleció de no pocas dilaciones que provocaron gastos innecesarios de energías, tiempo y dinero, como lo fue que los trabajos de campo se iniciaran sin los resultados de los vuelos aerogeofísicos, los que sólo comenzaron en Oct-Nov./94 y que durante casi todo el tiempo de adquisición de datos se trabajare con variantes de procesamiento a priori de la información aerogeofísica, es tal, que permite poner la Concesión SMOR como un buen ejemplo de que pese al alto conocimiento geológico del país, la reelaboración de la información y su comprobación con técnicas analíticas precisas y su estudio con más sofisticados métodos geofísicos, puede dar un vuelco importante al conocimiento que pensábamos poseíamos sobre tal o cual área ya conocida, lo que nos puede poner a las puertas de importantes descubrimientos mineros.

Los sectores donde se han realizado la mayor cantidad de trabajos son por su importancia: Antoñica, La Begoña y Sigua. Además se trabajó en N de la Gran Piedra, Zacatecas, Sevilla, Cupey, El Este, El Norte, Ermitaño, Monte de Oro, Firmeza, Concordia, Yuca, Cadenas, Berraco, Chalia, Alto de la Julia, La Caridad y Altagracia.

Cómo resultado de los trabajos de compilación de la información geológica existente y de los trabajos regionales de revisión objeto de este informe, resultó que el sector de la Sierra Maestra Oriental por sus características geológicas tiene perspectivas para la localización de depósitos de oro, perspectivas que pueden resumirse en:

- terreno volcánico con amplio desarrollo de rocas efusivas de composición media-ácida y ácida, riolitas y riolitas que forman aparatos volcánicos que pueden ser seguidos por su morfología con el mapeo regional de sus facies de cráter y cercanas a él.
- amplio desarrollo de las secuencias efusivo-sedimentarias con granulometría adecuada para la acumulación de sustancias minerales de interés económico: presencia de tobas soldadas de composición riolítica, xenotobas etc.



- gran desarrollo de zonas de alteraciones hidrotermales en las cercanías de los aparatos volcánicos hasta la fase argílica avanzada.
  - presencia de oro en los lavados de los sedimentos fluviales.
  - amplias zonas de anomalías geoquímicas de las rocas primarias de elementos indicadores de la mineralización aurífera.
  - decenas de puntos dónde se habían reportado distintos tipos de minerales de interés que en algunos casos pueden alcanzar el volúmen de pequeños depósitos.
  - existencia de huellas de una minería del oro pese a la escasísima documentación al respecto.
  - existencia de pequeñas anomalías hidroquímicas de plata en algunas de las muestras tomadas en manantiales de la región.
  - fuertes potencias de skarn cortadas en pozos de perforación durante la prospección en la región de menas de hierro magnetítico sin análisis de los contenidos de oro y que en forma de casi continua bordean el exocontacto del intrusivo Daiquirí.
  - carencia durante las investigaciones anteriores de la utilización de modelos de yacimientos epitermales y de skarn aurífero.
  - total ausencia de análisis de contenidos de oro confiables en las muestras que fueron tomadas durante los estadíos anteriores de levantamiento geológico y prospección de menas ferrosas.
  - contenidos industriales de minerales preciosos cuyos valores máximos obtenidos son:  
oro - 90.0 g/ton.  
plata - 400 g/ton.
- asociados a zonas de alteración, vetas de cuarzo y skarn en distintos ambientes geológicos.

Por la experiencia acumulada durante los años de trabajo en la Sierra Maestra era también conocido la importancia que debe dársele a las zonas de debilidades magnéticas dónde los fluidos hidrotermales han desmagnetizado las rocas de caja de la mineralización.

En la Tabla VI a continuación se pueden observar los principales sectores recomendados en las áreas restringidas de mayor perspectiva.

Tabla VI. Algunos sectores perspectivas para la realización de trabajos de prospección recomendados en la Concesión Sierra Maestra Oriental.

NOMBRES	NUMERO	AREAS PERSPECTIVAS (Ha.)	MINERALIZACION	PRIORIDAD
SIGUA	1	1920	Au, Pb, Zn	I





<b>BEGOÑA</b>	2	596	Au, Cu	I
<b>ANTOÑICA</b>	3	450	Au	I
<b>GRAN PIEDRA NORTE</b>	4	600	Cu	I
<b>AREA TOTAL PRIORIDAD I</b>		<b>3566</b>		I
<b>ERMITAÑO</b>	1	384	Cu	II
<b>MONSERRATE</b>	2	100	Cu	II
<b>YUCA</b>	3	11	Au	II
<b>ALTO DE LA JULIA</b>	4	500	Au, Cu	II
<b>BERRACO</b>	5	250	Au	II
<b>AREA TOTAL PRIORIDAD II</b>		<b>1245</b>		II

Como resultado de la política de inversión a riesgo completo y de asociación económica entre empresas cubanas y empresas mineras extranjeras el sector de la concesión SMOR hoy ha incrementado notablemente su grado de conocimiento geológico, pues además de los miles de resultado de ICP de 32 elementos de sus rocas más perspectivas, posee resultados de métodos aero-geofísicos en alrededor de la tercera parte de su territorio, con un complejo de métodos que incluye MAG, GAM-ESP, VLF y HEM y lo más importante los resultados de todas esas investigaciones forman parte del volumen de datos adquiridos en la región desde los inicios de las investigaciones en el siglo pasado.

La protección de la información, aspecto incluido en la Ley de Minas cubana que recién cumple 10 años de promulgada, ha asegurado en la rama minera el aumento del conocimiento geológico en todos los sectores donde se ha realizado cualquier tipo de investigación para la detección de minerales; se exponen los resultados de la Concesión SMOR, por ser uno de los más claros ejemplos del éxito de esa política minera. La inversión a riesgo completo durante las primeras etapas de los trabajos geológicos de revisión regional, controlados por los contratos correspondientes con las diferentes compañías mineras interesadas, le permite al país, interesado en la defensa de sus recursos naturales, tener el control de la información generada por la investigación para su uso, una vez que el inversionista haya decidido no continuar con sus investigaciones y la concesión regrese a manos del estado, quién en dependencia de sus intereses, puede utilizar esa información para futuras investigaciones a su coste, que podrían generar nuevos prospectos mineros.

La Tabla VII muestra cuantitativamente mediante la presentación de los volúmenes de trabajos realizados el aumento del conocimiento geológico en la concesión SMOR.

Tabla VII. Volúmenes de los trabajos geológicos realizados en la concesión Sierra Maestra Oriental (SMOR) entre los años 1993-1995 por la AEI CaribGold Mines Inc.-Geominera S.A.

<b>ORDEN</b>	<b>TIPOS DE TRABAJO</b>	<b>U</b>	<b>VOLUMENES</b>
1	MANIFESTACIONES MINERALES	U	55





2	PUNTOS DE MINERALIZACION	U	232
3	ZONAS DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL	U	146
4	ANOMALIAS GEOQUIMICAS	U	22
5	MUESTREO LITOGEOQUIMICO (Spots)	Mtas	1325
6	MUESTREO LITOGEOQUIMICO (Paso 20m.)	Mtas	1822
7	ITINERARIOS GEOLOGICOS	Km.	440.4
8	ITINERARIOS GEOLOGICOS DE DETALLE	Km.	21.73
9	PERFILES DE RESISTIVIDAD (VLF)	PF	108
10	PERFILES DE MAGNETOMETRIA	PF	166
11	PERFILES DE RADIOMETRIA	PF	124
12	REANALISIS DE DUPLICADOS	U	256
13	MUESTREO DE SURCO	Mtas	222
14	VERIFICACION DE ANOMALIAS HEM	U	72
15	TRAZADO DE LINEAS 50X20m.	Km	9.9
16	PERFORACION DE DIAMANTES	m	1392.4
17	DESCRIPCIONES MINERAGRAFICAS	Mtas	20
18	SECCIONES DELGADAS	Mtas	3
19	ANALISIS MINERALOGICO	Mtas	3
20	LEVANTAMIENTO AEROGEOFISICO 1:20000	Km <sup>2</sup>	135.0
21	LEVANTAMIENTO AEROGEOFISICO 1:10000	Km <sup>2</sup>	70.0

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Capote Marrero, C.; R. Sánchez Cruz; J.P. Lledías; M. Santa Cruz Pacheco; E.M. Escobar. 1992. "Rasgos Estructurales en los Arcos de Islas de Cuba". In Geological Conference of Caribbean 13, Pinar del Río, Cuba. 1992. Abstracts.
- Casañas, X.; A. Peldiakov; R. Sánchez Cruz; M. Guerra; M. Pérez; M. Pardo; P. Stanek; E. González, 1989. "Mineralización de tipo Skarn magnetítico en la Sierra Maestra". I Congreso Cubano de Geología y Geología del Caribe Occidental, La Habana, 1989.
- Casañas, X.; A. Peldiakov; E. Escobar; M. Guerra, et.al. 1990. "Resultados del Tema 401-02. Evaluación de las Perspectivas de Mineralización de Skarn en el Campo Mineral Hierro –Santiago" IGP. La Habana 1990.
- Chang Bravo, J.L.; G. Grevnirov; A. Brodovoi. 1990, "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las Provincias de Santiago de Cuba, Holguín, Gramma y Guantánamo, (Sector Pinares de Mayarí)". Archivo O.N.R.M. Inv. No. 3915. IGP. Inv. No. 60.
- Donskij, V.V. et al. (1988). Las estructuras vulcano-tectónicas de la Sierra Maestra. Su tipificación y origen. I Congreso Cubano de Geología. La Habana.
- Escobar Pérez, E.M.; R. Sánchez Cruz, 1983. "Algunas Consideraciones sobre las perspectivas de Aparición de Mineralización Cuprífera en la Sierra Maestra". I Conferencia Científico Técnica de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1983.
- Escobar, E.M.; R. Sánchez Cruz. 1988. "Zonación Gravi-magnética y Modelo Físico-Geológico profundo de la región de la Gran Piedra". III Conferencia Científico Técnica de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba 1988.
- Escobar Pérez. E. M.; F. Mondelo. 1991. "Estructura Vulcano Tectónica El Cobre. Características Físicas Regionales". IV Conferencia Científico de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1991.
- Izquierdo, J.M.; V. Sherchniov; A. Fernández; E. Escobar; V. Donskij; R. Sánchez Cruz; M. Estrugo; M. Torres; J. Rodríguez; M. Gentoiu; H. Dieguez; J. Cobo. 1991. Informe del Tema 401.03 "Fundamentación de las Direcciones de Prospección Preliminar y



- Prospección Detallada para Cobre en la Región del Campo Menífero El Cobre, Incluyendo la Cuantificación de los Recursos Pronósticos". Archivo IGP. La Habana.
- Kuzovkov, G.; Zinchenko, V.; Alcaide, J.; Escobar, E.; Durañona, D.; Cobián, T.; Sánchez Cruz, R.; Guerra, M.; Rodríguez, R.; Méndez, I.; Gelis, B.; Lay, M.; Mondelo, F.; Rodríguez, M. (1988). Informe sobre el levantamiento geológico a escala 1:50 000 y sus búsquedas acompañantes en escala 1: 10000 y 1: 5000 ejecutado en el área de la Gran Piedra al este de Santiago de Cuba en los años 1983-1987. ONRM. La Habana.
- Lavandero R.; J. Montano; J. Moreira, R. Sánchez Cruz, J. López Kramer, J. Cruz, et al. 1999 "Modelos Geológicos los Principales Yacimientos Auríferos de Cuba". Resúmenes del III Congreso Cubano de Geología. La Habana 1999.
- Méndez, I. 1997. "Apuntes sobre el vulcanismo del Paleógeno en la región Sierra Maestra, características de su composición química". En "Estudios sobre Geología de Cuba", Furrázola-Núñez eds., 424-444 pp.
- Moreira, J.; J.L. Torres Zafra; J.L. Montano; A. Morales; I. Altarriba; F. Bravo; A. Suárez; B. Echevarría; D.J. Carrillo; J.L. Chang y D. González, 2000. "Reevaluación metalogénica del potencial de recursos mineros de metales preciosos y base en Cuba oriental". Inédito Instituto de Geología y Paleontología.
- Nagy, E.; Brezsnysanszky, K.; Brito, A.; Coutin, D.P.; Formell, F.; Franco, G.L.; Gyarmatti, P.; Jakus, P. y Radocz, G.Y. (1976). "Texto Explicativo del Mapa Geológico de la provincia Oriente a escala 1:250 000 levantado y confeccionado por la Brigada Cubano-Húngara entre 1972-1976". Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Pérez Pérez, C.M.; D. García, C. Cañete; F. Sánchez Menéndez. 1994. "Tectónica de la Sierra Maestra y áreas adyacentes". Informe del Resultado 555. Archivo IGP. La Habana
- Pérez Pérez, C.M.; D. García Delgado. 1998. "Tectónica de la Sierra Maestra (Sureste de Cuba), in Furrázola-Bermúdez, G., and Núñez Cambra, K., eds., Estudios sobre Geología de Cuba: La Habana, Centro Nacional de Información Geológica.
- Rodríguez Basante, B. 1998. "Radioelement distribution and interpretation of Gamma-Ray Spectrometric Data". Literature Review. EXG-2 Course 1998-1999. ITC. The Netherlands .
- Rodríguez Crombet, R.; M. Rodríguez; A. Yassel. 1998, Características del magmatismo granitoideo de Cuba Oriental (región Sierra Maestra), in Furrázola-Bermúdez, G., and Núñez Cambra, K., eds., Estudios sobre Geología de Cuba: La Habana, Centro Nacional de Información Geológica.
- Russell, N., Kesler, S.E., Bell, D. (1995). Metallogeny of The Sierra Maestra, Cuba. SGE Annual Meeting, A-239.
- Russell, N.; J. Moreira; R. Sánchez Cruz. 2000 "Volcanogenic Massive Sulphide Deposits of Cuba. P. 241-258 in VMS Deposits of Latin América, Geological Association of Canadá, Mineral Deposit Division. Special Publication No.2 (SRK Consulting & Smithsonian Institution. 2000).
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1984."Perspectivas de Aparición de Menas Magnetíticas en la Sierra Maestra al Oeste de Santiago de Cuba". Conferencia Especial en el V Aniversario de la S.C.G. La Habana 1984.
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez; C.M. Rosales Junco, 1984. "Mineralización de Hierro y de Cobre y su Vínculo Téctono-Magmático en La Sierra Maestra". VI Congreso Centroamericano de Geología, Managua, Nicaragua. 1984.
- Sánchez Cruz, R. 1993. "Compilación de todos los datos Geológicos, Geofísicos y Geoquímicos de la Región de la Gran Piedra". IGP – David R. Bell Consultories, St.Catharines, Ontario, Canadá. (en Inglés)



- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1993. " Aspectos Geólogo-Geofísicos de la aplicación de diferentes modelos metalogenéticos, para la prospección de oro en la región de la Gran Piedra". GEOCIENCIAS'93, Filial Oriental de la Sociedad Cubana de Geología, ( SCG ). 1993.
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1994. "Aproximación al Modelo Físico-Geológico del Arco Volcánico Paleogénico Cubano". II Congreso Cubano de Geología y Minería. Santiago de Cuba, 1994.
- Sánchez Cruz, R.; P. Ferro Espinosa; J.A. Bárzana Rodríguez 1997. "Informe de cierre de los trabajos de Reconocimiento Regional realizados por la AEI CaribGold Mines Inc.- Geominera S.A en la Región de La Gran Piedra, Propiedad Sierra Maestra Oriental SMOR". ONRM
- Sánchez Cruz R.; N. Russell; P. Ferro; J.A. Bárzana; E.M. Escobar; R. Lavandero. " Nuevo Mapa de Minerales Útiles de la Gran Piedra con énfasis en las mineralización aurífera a escala 1: 25000". III Congreso Cubano de Geología. La Habana 1998.



## DIAGNOSTICO AMBIENTAL DE LA VILLA SAN JOSE DEL LAGO

**María del Carmen Marrero Pera<sup>(1)</sup>, Mauricio Rodríguez Infante<sup>(1)</sup>, Dagoberto Escandel Barnez<sup>(2)</sup>**

(1) Empresa Geominera del Centro, Carretera de Malezas km 2.5, Santa Clara Villa Clara, Cuba, E-mail: [mauricio@egmc.vcl.cu](mailto:mauricio@egmc.vcl.cu)

(2) Villa San José del Lago, Circuito Norte, Mayajigua, Yaguajay, Sancti Spíritus, Cuba, E-mail: [sjlagos@enet.cu](mailto:sjlagos@enet.cu)

### RESUMEN

En los últimos años el turismo ha experimentado un crecimiento vertiginoso en el mundo y en especial en nuestro país con amplias proyecciones de continuar este cambio hacia el futuro, siempre vinculado con la protección del Medio Ambiente, pues este es su principal soporte.

Partiendo de este criterio, se realiza en la Villa San José del Lago el diagnóstico Ambiental, que constituye la etapa inicial del Sistema de Gestión Ambiental. Este documento que deben presentar las entidades interesadas en la obtención de Reconocimiento Ambiental, acompañando la solicitud de evaluación de su desempeño en materia de medio ambiente. Constituye además el punto de partida para la elaboración del Programa Ambiental o Plan de Acción.

La Villa "San José del Lago" pertenece a la cadena Isla Azul y está ubicada a 1.5 Km al sur del poblado de Mayajigua, circuito norte, municipio de Yaguajay, provincia de Sancti Spíritus, a unos 5 Km de distancia del Pedraplén Caibarien-Cayo Santa María.

### ABSTRACT

In the last years the tourism has experienced a growth [vertiginoso] in the world and especially in our country with wide projections of continuing this change toward the future, tied always with the protection of the environment, as it is their principal support.

Base on this criterion, it is carried out in San José de el Lago, the Environmental diagnosis, that constitutes the initial stage of the System of Environmental Administration in that place. This document should introduce the entities been interested in getting the Environmental Reconnaissance, accompanying the application of evaluation of their acting in material of environment. it also constitutes the starting point for the elaboration of the Environmental Program or Plan of Action.

The Villa "San José de el Lago" belongs to the Blue Island division and it's located 1.5 Km to the south of the Mayajigua town, in the north circuit, municipality of Yaguajay, Sancti Spiritus county, to some 55 Km away from the Pedraplén Caibarien-Cayo Santa María.

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años el turismo a experimentado un crecimiento vertiginoso en el mundo y en especial en nuestro país, con amplias proyecciones de continuar este camino hacia el futuro, siempre vinculado con la protección del medio ambiente, pues este es su principal soporte.

Existen muchas razones para concederle a la protección del medio ambiente la máxima prioridad en el mundo y en especial en nuestro país, pues de el depende la calidad de la vida, no pudiendo existir eficiencia sin proteger el Medio Ambiente.

Cuba Central realiza grandes inversión en la infraestructura hotelera, al igual que el resto del país,

que la llevara dentro de pocos años a convertirse en un área turística de particular interés por sus hermosas playas, su paisaje, sus montañas, su historia, su cultura, su hospitalidad; todo esto nos ha hecho reflexionar sobre la necesidad de convertirnos en líderes en nuestro negocio.

El Sistema de Gestión Ambiental, abarca todas las actividades desarrolladas por el hombre, ya que de una forma u otra se relaciona con el suelo, el agua, la atmósfera, las formas de vida que dichos elementos albergan, la historia, la cultura, lo social y lo estético. Atendiendo a tales consideraciones es ineludible llegar al convencimiento de la estrecha relación existente entre la actividad humana y el medio ambiente, y a su mutua influencia. El turismo constituye un vivo ejemplo de esta asociación, sobre todo, como en el caso nuestro cuando se basa fundamentalmente en los aspectos naturales del medio, por lo que precisamos de mecanismos de control que eviten o mitiguen los efectos ecológicamente negativos pues, de no ser así, se afectaría la sostenibilidad como renglón económico.

Partiendo de este criterio es que se inicia en la Villa San José del Lago la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental.

## **DATOS DE LA ENTIDAD**

### ***Ubicación .***

La Villa "San José del Lago" pertenece a la cadena Islazul Organismo: MINTUR. y está ubicada a 1.5 km al sur del poblado de Mayajigua, Circuito Norte, Municipio de Yaguajay, Provincia de Sancti Spíritus, a unos 55 km de distancia del Pedraplén Caibarién-Cayo Santa María y a menos de 2 horas, por carretera, de las playas de la cayería norte.

### ***Origen de la Villa.***

Se cuenta que en el siglo XIX, un esclavo que sufría de una enfermedad de la piel, fue puesto en libertad por el hacendado Luis Miguel Rojas, para impedir que infectara al resto de los esclavos, algunos años más tarde, fue encontrado completamente curado, gracias a unos "milagrosos" manantiales con aguas calientes.

Las bondades de los manantiales y las condiciones del entorno motivaron que a mediados de ese siglo la familia construyera las dos primeras cabañas para hospedaje y una piscina que permitiera el uso de las aguas.

La propiedad fue comprada en 1926 por Arturo Berrayarza, quien inauguró un balneario en 1940, con cabañas rústicas de madera y guano, que contaba además con una pista de aviación de pequeño porte.

Después del triunfo de la Revolución se han realizado varias inversiones, convirtiendo la rústica instalación en la hermosa Villa – Balneario que observamos hoy, considerada una de las más importantes de su tipo en el país, con una extensión de 130000 metros cuadrados; forma parte del programa de salud provincial donde se brindan tratamientos a numerosas enfermedades para mejorar la calidad de vida en general, basados en la utilización de las aguas del balneario y otras técnicas.

La Villa constituye una de las fuentes fundamentales de empleo del poblado de Mayajigua; así como



es la fuente principal de ingresos de divisas frescas y directas del municipio, Sin dejar de destacar que como miembro de la cadena Islazul es un pilar fundamental en la atención a trabajadores vanguardias y lunas de miel.

La Villa cuenta en esto momentos con 67 habitaciones, de ellas 33 en reparación y 34 en explotación, todas con baño privado, caja de seguridad, radio, teléfono, TV vía satélite (cable) y minibares; 1 restaurante a la carta; 1 sala de juegos; 3 piscinas recreativas y otra para tratamientos médicos; 2 Lagos donde se puede montar botes y bicicletas acuáticas; 3 parqueos; áreas para volleyball, y para juegos infantiles (tiro con arco y flecha, y juegos pasivos); museo; teléfono nacional e internacional; gimnasio y sala de video; también ofrece a sus huéspedes animaciones durante el día y la noche y giras a caballo o en ómnibus. Existe además una pista aérea de 1 500 metros de longitud, que con mínimas inversiones constituirá una vía de recepción de aviones de pequeño y mediano porte .

En la Villa, la naturaleza es una fuente de salud debido al tesoro vital de sus aguas y al confort ofrecido a sus huéspedes. Todos estos componentes hacen del balneario un lugar ideal para disfrutar de unas sanas vacaciones.

## **DESEMPEÑO BÁSICO DE LA VILLA**

### ***Plan Técnico económico en los últimos años***

Los ingresos en el 2002 se sobrecumplieron al 167 % y la utilidad neta al 516 % con un importe de \$ 399.0 por encima, el costo por peso de ingreso baja con relación a lo planificado. En el 2003 se sobrecumplió en un 137 % , los ingresos totales tuvieron un importe de \$ 937.9 y la utilidad con un importe de \$ 180.9 por encima.

Como se puede apreciar, la instalación presenta una situación financiera muy favorable, esto se debe al sobrecumplimiento de los ingresos, presentando una capacidad de hacer frente a todas las obligaciones y pagar las deudas a corto plazo.

## **DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LA ENTIDAD**

### ***Cumplimiento de las regulaciones ambientales y sanitarias vigentes en el país***

En el trascurso del trabajo se evalúa el cumplimiento de las principales regulaciones ambientales y sanitarias vigentes aplicables a la entidad (además de leyes, decretos-leyes y resoluciones del CITMA, las normas técnicas de carácter general, incluyendo las de higiene de los alimentos, protección contra incendios, Higiene Comunal, protección e higiene del trabajo, etc.).

En el documento del diagnóstico se reflejar los resultados de las inspecciones estatales realizadas a la entidad por otros organismos rectores (MINSAP, MIP, INRH, CITMA, MININT), cumplimiento de las medidas dictadas, medidas pendientes y causas de los incumplimientos detectados.

## **MANEJO DEL AGUA.**

### ***Caracterización y manejo de las aguas de uso de servicio, doméstico, en la Villa.***

El abasto de agua para uso de servicio doméstico procede en su totalidad del Pozo Pc-1 (propiedad de La Villa), ubicado detrás del Bar - Restaurante

Desde el punto de vista químico las aguas de este pozo se clasifican como bicarbonatadas cálcicas, magnésicas, básicas, relativamente duras, oligominerales, nitrogenadas oxigenadas con cierto



contenido de interés de sílice y su mineralización es media.

### **Plan de medidas propuesto para el uso eficiente del agua con fines domésticos:**

- 1.- Instalar en la conductora principal un medidor que registre el consumo de agua con el objetivo de:
  - Llevar un control histórico del consumo de agua, y poder compararlo con las normas internacionales establecidas para estas instalaciones .
  - Establecer los tiempos de operación de la bomba según la demanda real de la Villa teniendo siempre en cuenta las normas establecidas .
- 2.- Instalar en las habitaciones inodoros, duchas y grifos eficientes, pudiéndose reducir el consumo de agua en un 20% .
- 3.- Hacer una campaña para elevar la conciencia de los huéspedes y los trabajadores hacia el ahorro de agua.
- 4.- Llevar a cabo revisiones y reparaciones periódicas en el sistema de abastecimiento con el fin de evitar y eliminar las fugas de agua.
- 5.- Garantizar el cumplimiento de las normas establecidas para lograr una buena calidad del agua:
  - Utilizar este recurso con la mejor calidad posible.
  - Emplear todos los medios disponibles para garantizar la protección de las tomas.
  - Garantizar de forma permanente el tratamiento del agua.
  - Vaciar, limpiar y tapar adecuadamente los tanques de almacenamiento .realizar cada bimestre, como mínimo, pruebas de laboratorio que establezcan la calidad del agua Colocar filtros de agua a la salida de los grifos.
- 6.- Construir un nuevo Pozo de abasto que cumpla con todos los requerimientos técnicos necesarios para garantizar de forma eficiente el agua a la Villa.

### **Caracterización y manejo de las aguas de uso terapéutico.**

Las aguas para uso terapéutico se obtienen en la Villa de dos fuentes naturales, los manantiales MN-1 y MN- 2, ambos de su propiedad.

Las aguas del Manantial MN –1 surgen dentro de la Piscina Termal

La piscina se higieniza semanalmente de forma manual mediante el cepillado de sus paredes y la extracción de los residuos existentes.

Químicamente estas aguas son bicarbonatadas cálcicas, magnésicas, básicas, relativamente duras, oligominerales, nitrogenadas, oxigenadas, con cierto contenido de interés de sílice, bromo, sulfhídrico y radón, con temperaturas de 31.5 °C, consideradas como aguas minerales medicinales para uso en diferentes afecciones en la salud humana.

En la actualidad se consumen de 8.0 a 16.0 l/seg de las aguas de esta fuente (en dependencia de la época de seca o de lluvia).

Las aguas que surgen en el Manantial MN-2 “El Chorrillo”, son similares desde el punto de vista químico a las existentes en el manantial MN-1, libres de contaminación bacteriológica, debido a que presentan mejor captación

Las aguas de este manantial se utilizan con buenos resultados en diferentes tratamientos médicos, demostrados durante los últimos 17 años por el equipo de salud que labora en la instalación.

El drenaje del agua residual se realiza por una tubería directamente al lago más cercano, sin aplicar tratamiento alguno por no ser necesario.

La limpieza de la captación se realiza diariamente de forma manual .

Las dos fuentes de aguas para uso terapéutico existentes en la Villa son manantiales, con surgencia natural, que se utilizan además para el abasto a las piscinas recreativas y a los lagos; no existiendo la posibilidad de regular la entrega de agua, observándose un equilibrio entre la entrega y el uso.

## **MANEJO DE LA ENERGÍA**

### **Medidas concretas tomadas para el manejo racional y eficiente de los portadores energéticos.**

- 1.- Realizar una inspección sistemática con el fin de revisar el estado de los equipos y del sistema eléctrico de la Villa
- 2.- Llevar en detalle la estadística de ocupación de la Villa, determinado el consumo por habitación (Kwh/hab. ocupa-mes) y realizar comparación con los índices establecidos para una entidad de su dimensión.
- 3.- Analizar las alternativas de sustitución de equipos tomando en cuenta criterios técnicos, económicos, constructivos, arquitectónicos y de confort.
- 4.- Dar mantenimiento adecuado a los equipos de aire acondicionado y de refrigeración.
- 5.- Sustitución paulatina de bombillas por fluorescentes compactos de 9 y de 11 w.
- 6.- Instalar fotoceldas o controladores de encendido en los circuitos de iluminación exterior
- 7.- Campaña de concientización hacia el ahorro de electricidad.
- 8.- Reparar toda fuga de agua.
- 9.- Sustitución de los sistemas eléctricos para el calentamiento del agua por sistemas de energía solar
- 10.- Introducir un sistema tipo PLC (Programa Lógico Controlado) que administre la carga eléctrica.
- 11.- Comprar Termómetros para el control de las temperaturas a aplicar en los equipos de frío de la Cocina.
- 12.- Utilizar los equipos eléctricos del taller solamente lo necesario para su actividad (máquina de soldar, piedra de esmeril, compresora, etc).
- 13.- Evitar el arranque de la electro bomba para el abasto de agua en el horario pico de 6.00 pm a 10.00 pm. y de 11 am a 1.00 pm.

### **CALIDAD DEL AIRE Y RUIDO.**

#### ***Evaluación del aire y ruido en la Villa..***

El aire en la Villa es puro, con una alta oxigenación debido a la gran cantidad de vegetación existente en el entorno, no encontrándose focos de contaminación de interés;. Solo se aprecian bajas concentraciones de monóxido de carbono provenientes del escape de los vehículos que circulan por las vías de acceso a la instalación y el humo que se produce durante la elaboración de los alimentos en la Cocina. y en la Cafetería.

Los efectos sinérgicos de ambas fuentes son despreciables en el medio ambiente del entorno.

#### ***Plan de Medidas para evitar la contaminación del aire:***

- 1.- Instalar la Campana de extracción en la Cocina.
- 2.- Reducir al mínimo posible la circulación de vehículos automotores por las vías internas de la instalación.
- 3.- Evitar quema de desechos sólidos combustibles .

#### ***Evaluación del ruido asociado a las actividades recreativas desarrolladas en la Villa.***

La Villa es una instalación que se caracteriza por su tranquilidad, esto se pudo apreciar durante el levantamiento y las consultas directas efectuadas a los turistas y a los vecinos.

### **RESIDUALES LÍQUIDOS.**

#### ***Caracterización de los residuales líquidos generados por la Villa y su destino final***



Se realizaron tres muestreos, que incluyeron cada una de las puntos de vertimiento seleccionados, TSE-1 (entrada al tanque séptico) ,TSS -2 (salida del tanque séptico) , Pr-1(río aguas arriba) y Pr-.2 (río aguas abajo).

Según los métodos analíticos del "Standard Methods for the Examination of water and wastewater". 17 Edition 1989.

Por los resultados obtenidos en los monitoreos realizados podemos decir que no todos los parámetros están dentro de la norma siendo evidente la contaminación orgánica y bacteriológica por lo que recomendamos las siguientes medidas .

- ✓ Limpieza y reparación del Tanque Séptico.
- ✓ Colocar trampa de grasa en la cafetería.
- ✓ Limpiar la trampa de grasa de la cocina comedor con frecuencia.

En la actualidad el carro fosa es el encargado de darle una disposición final a los lodos y residuos sólidos generados por el sistema de tratamiento utilizado en la Villa.

## RESIDUOS SÓLIDOS

### ***Residuos sólidos generados por la Villa y su destino final .***

En la villa se generan desechos sólidos de variada composición, característicos de una instalación hotelera:

La recogida de estos desechos se realiza diariamente manteniéndose el entorno limpio. Para estos fines se utiliza una amplia red de depósitos distribuidos de forma homogénea por toda la instalación. La fuerza laboral de San José del Lago esta consciente que para beneficio de la Villa y sus clientes es necesario reducir la cantidad de residuos sólidos que se genera y que se envía al "vertedero" este debe reunir los criterios técnicos y sanitarios para una adecuada disposición final.

### ***Acciones necesarias para reducir la generación de los desechos:***

- Reducir la cantidad y toxicidad de los desechos.
- Reincorporar al ciclo productivo materiales o sustancias reutilizables.
- Reducir y separar los residuos en el lugar de generación.
- Fomentar la reutilización y el reciclaje de los desechos que lo permitan.
- Depositar en forma ambientalmente adecuada las sustancias o materiales no reutilizables.
- Fomentar la disposición segura de los desechos no reutilizables.

## PRODUCTOS QUÍMICOS, COMBUSTIBLES, LUBRICANTES.

No se producen ni almacenan productos químicos, solo se utilizan en el control de plagas y enfermedades y en el control a vectores, en todos los casos los volúmenes son pequeños

Los combustibles y lubricantes almacenados y utilizados en la entidad son:: Combustible diesel., Gas licuado., Lubricantes.

Por su parte el uso y almacenamiento de lubricantes es muy limitado en la Villa, pues solo se utilizan en los medios automotores existentes y solo se compran cuando son necesarios. En todos los casos se emplean los que se ofertan en la red de mercados nacionales.

## DESECHOS PELIGROSOS

No se producen ni almacenan desechos peligrosos en la instalación.

## EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

Cuenta con varios equipos de refrigeración y climatización: de los cuales las neveras son las únicos que en estos momentos se mantienen con gas refrigerante R-12, dañino al entorno; se planifica la sustitución del mismo para el próximo año, se incluye en el plan de acción.

## AREAS VERDES, JARDINERÍA O ÁREAS EXTERIORES

### *Especies predominantes, estado y cuidado.*

La Villa posee una rica y variada flora, donde se pueden encontrar especies como Algarrobo, Palmas, Guanábana, Chirimoya, Güira, Mamey, Eucaliptos, Pinos, Mangos, Naranjas, Cocos, Júcaro, Guayaba, Limón, Toronja, Rosas, Mariposas, Jazmín, y diversas plantas ornamentales y tipos de césped, formando un entorno agradable y muy acogedor.

Tanto las áreas verdes, las de jardinería, como aquellas donde se desarrollan los árboles frutales y maderables presentan buenas condiciones de vida y son atendidas por un ingeniero agrónomo.

En la actualidad se cuenta con un control de plagas contra las hormigas, las bibijaguas y el comejen utilizándose productos químicos recomendados por Sanidad Vegetal con una frecuencia mensual usando mochilas y de forma manual; el resto de las plagas y enfermedades que se observan no cuentan con un tratamiento fitosanitario que permita evitar su proliferación, aunque se emplean medidas agro-técnicas que consisten en el movimiento del suelo con implementos agrícolas y se efectúa la poda de las plantas.

Las malas hierbas se controlan de forma manual y mecanizado (chapeadora), manteniéndose un césped limpio y saludable.

Para el desarrollo de la jardinería se utilizan abonos orgánicos preparados a partir de la cachaza descompuesta de la industria azucarera y un compost orgánico elaborado en la entidad utilizando como base las hojas secas de las plantas; no empleándose productos químicos con estos fines.

Medidas profilácticas y de prevención de plagas y enfermedades.

Profilácticas: Estas se realizan en las plantas que presentan ataque de plagas y enfermedades y se efectúan acorde a lo recomendado por Sanidad Vegetal.

Preventivas: Se evita la proliferación de plagas y enfermedades aislando las áreas contaminadas de las sanas, sembrando plantas sanas, utilizar implementos descontaminados, no transportar suelos sin conocer su procedencia y atacar a tiempo las plagas y enfermedades.

El riego se encuentra limitado, solo se emplea en algunas áreas priorizadas de jardinería y de frutales utilizando métodos manuales apoyándose en la red hidráulica existente en la entidad. Estos sectores se riegan cada tres días durante 2 horas de trabajo y nunca en horario de pico eléctrico.

## POLÍTICA DE COMPRAS Y USO DE PRODUCTOS, MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

Se cuenta con una política definida de compra y de uso de productos amigables con el medio ambiente., se emiten orientaciones para la compra de productos a granel, limitando los embalajes y los envases. Se plantea el uso de productos biodegradables, reciclables, etc



Los productos adquiridos se almacenan en buenas condiciones de seguridad y de higiene siguiendo las normas establecidas para estos fines:

## **CONDICIONES HIGIÉNICO-SANITARIAS EN GENERAL**

Las condiciones higiénico-sanitarias de la entidad son buenas en general, observándose una limpieza adecuada tanto en las áreas interiores como exteriores.

En el año 2004 se valoró el cuadro higiénico sanitario de la instalación de bien **(B)**. Estos resultados se deben a la continua exigencia que ha mantenido la Dirección de este centro en beneficio del mejoramiento estable del estado higiénico sanitario del mismo, así como la preocupación por las medidas dictadas por ISE en cada visita realizada

## **CONTROL DE VECTORES**

En la Villa se observa la presencia de los vectores típicos en Cuba (mosquitos, cucarachas, roedores, moscas, etc), aunque debemos señalar que Salud Pública Municipal realiza un control sistemático sobre los mismos.

## **DRENAJE PLUVIAL**

El drenaje de las aguas pluviales se realiza en la villa de forma gravitacional apoyándose en las ondulaciones del terreno, en algunas zanjas colectoras construidas para estos fines y en el arroyo Aguacate que atraviesa la instalación, lográndose de forma general un rápido escurrimiento de las mismas.

## **PROTECCIÓN E HIGIENE DEL TRABAJO, PREVENCIÓN CONTRA INCENDIOS Y PLANES DE CONTINGENCIA**

Teniendo en cuenta que la Seguridad y Protección contra incendios es un elemento fundamental en la protección de bienes, recursos materiales y financieros, así como de la integridad física de trabajadores y huéspedes se pone en conocimiento de los factores interesados los riesgos que en un momento determinado pueden traer situaciones de catástrofe en el centro

## **INTRODUCCIÓN DE RESULTADOS CIENTÍFICO TÉCNICOS E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA.**

En la Villa se aplican constantemente soluciones generadas por trabajadores que de una forma u otra tienen incidencia ambiental, cuenta con un amplio banco de problemas dentro de los cuales se destacan los de incidencia ambiental

## **PROMOCIÓN DE LOS VALORES CULTURALES, NATURALES E HISTÓRICOS NACIONALES Y LOCALES Y VÍNCULOS CON LA COMUNIDAD**

La entidad promueve nuestros valores culturales de forma sistemática por medio de la presentación de varias agrupaciones culturales tanto locales como nacionales, donde se pueden apreciar dúos, tríos, solistas, magos, danzas, etc., con una gran aceptación por parte de los huéspedes y la población local.

En varios de sus locales se pueden observar obras plásticas y artesanales de artistas nacionales que también es una vía de promoción de nuestra cultura.

Los valores naturales del entorno también son objeto de promoción en el centro mediante los recorridos que realizan los turistas a varias localidades de la zona, dentro de los que podemos



mentar Reserva Natural de Cayo Caguanes. , Coto de Caza de Jobo Rosado. , Recorridos por las elevaciones de la Canoa.

El paisaje natural existente en la Villa constituye una atracción para todo el que la visita, por la variedad de su flora y fauna, la presencia de los lagos, del arroyo y en particular por la riqueza de sus aguas minerales.

La Villa se encuentra enclavada dentro de la Reserva Natural de la Biosfera

La entidad cuenta con un museo donde se puede conocer la historia de la instalación, de las visitas de personajes relevantes, donde se promueven sus valores históricos naturales.

También efectúa actividades patrióticas con estudiantes y pobladores de la zona en el escenario de una emboscada realizada por el Ejército Rebelde a soldados de la tiranía en 1958, (donde existe una tarja que señala el sitio) y desarrolla un Sitio histórico donde se muestra el origen de los Lagos y se honra a los fundadores de la misma.

Los trabajadores y directivos participan de forma activa en todas actividades políticas y de masas que se desarrollan en el municipio ya sean estas de carácter local o nacional.

El centro cuenta con dos convenios de colaboración con instituciones escolares del territorio, dirigidos a la participación conjunta en actividades recreativas, deportivas y políticas, y realiza sistemáticamente encuentros deportivos entre los trabajadores de la Villa y habitantes de la zona, con una gran aceptación popular y de las autoridades del territorio.

## **EDUCACIÓN, INFORMACIÓN Y CAPACITACIÓN AMBIENTAL**

En la Villa se ha logrado un gran desarrollo en los programas de educación ambiental tanto para la fuerza directiva como para el resto de la fuerza laboral.

Se pudo comprobar que cada trabajador conoce los impactos ambientales que ocasiona en su puesto de trabajo y sus responsabilidades en esta materia.

En la actualidad se cuenta con un coordinador medioambiental que es el encargado de llevar a cabo la puesta en marcha del sistema, de lograr el cumplimiento de las actividades previstas y de contactar con los expertos en la materia., poseen un plan de capacitación donde se proyecta la realización de cursillos, conferencias, actividades prácticas, seminarios y talleres en la materia que motiven paulatinamente a un cambio de actitud. El intercambio de experiencias con otras organizaciones también será un elemento que contribuya al interés por la temática.

## **ATENCIÓN AL HOMBRE**

La atención al hombre es buena en sentido general, cumpliéndose con el Convenio Colectivo. Las condiciones de trabajo del personal son buenas, contándose con los medios de protección y los recursos necesarios para la ejecución de las actividades que se desarrollan. De forma general, todo esto a generado estabilidad y sentido de pertenencia en cada uno de los trabajadores, con una fluctuación anual de un 5 % como máximo en los últimos tres años .

### ***Percepción de las autoridades y población circundante sobre el desempeño ambiental de la entidad***

Las autoridades locales de gobierno, las organizaciones de masas y la población residente en la comunidad circundante tienen buena opinión sobre el desempeño ambiental de la entidad y manifiestan que sus actividades tienen buena incidencia en el estado del medio ambiente local y la calidad de vida en general de la Zona, no existiendo quejas al respecto.

## **POLÍTICA AMBIENTAL.**



Después de realizado el diagnóstico la Villa se traza su **Estrategia Ambiental** donde tiene como **Política Ambiental**.

Lograr un Desarrollo Sostenible en armonía con el medio ambiente.

Derivado de la Política surgen los Objetivos, metas, y un amplio Plan de Acción con responsables y fechas de cumplimiento

## CONCLUSIONES

1 Este trabajo le permitirá a la Villa alcanzar un nivel adecuado en el manejo de la información ambiental. La tierra y las próximas generaciones no los agradecerán.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo (adecuación cubana al documento Agenda 21 de Río de Janeiro, 1992), CIDEA, 1ra Edición, 1995.
2. Ley No 81 del Medio Ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba, pág. 47, julio 1997.
3. Resolución no. 168/95, CITMA. Reglamento y aprobación de las evaluaciones de Impacto Ambiental y el otorgamiento de las licencias ambientales.
4. Programa de Medio Ambiente del Grupo Cubanacán S.A., Dirección de Ciencia y Tecnología, 1997.
5. Turismo y Medio Ambiente. España 1999.
6. Protección del ambiente contra la contaminación con plaguicidas. Requisitos sanitarios generales. NC 93-13-1986.
7. Resolución Ministerial No. 268, MINSAP. Prohibición de uso y entrada de Plaguicidas dañinos a la salud. Gaceta Oficial de la República de Cuba, pág. 93, 1992.
8. Piscinas. Requisitos higiénico-sanitarios. NC 93-04, 1985.
9. Piscinas turísticas. Control y tratamiento químico del agua. Procedimiento. NRT004, 1986.
10. Agua Potable. Requisitos sanitarios y muestreo. NC 93-02, 1985.
11. Desechos Sólidos. Almacenamiento, Recolección y Transportación. Requisitos higiénico-sanitarios. NC 93-05, 1986.
12. Desechos Sólidos. Almacenamiento y disposición final. Requisitos higiénico-sanitarios. NC 93-06.
13. Contaminación Sónica. Carta Circular. Delegado MINTUR Occidente. Junio 1998.
14. Sistema de Normas de Protección e Higiene del Trabajo, NC 19 - 01 – 04. Ruido.



15. Manipulación de Alimentos. Requisitos de higiene y limpieza en los establecimientos gastronómicos para el turismo. NRT 002, 1979.
16. Salvar la capa de ozono: Cada acción cuenta. Folleto. Centro de información. Divulgación y Educación Ambiental 1997.
17. Búsqueda y Exploración de aguas Minero- Medicinales San José del Lago. Mauricio Rodríguez Infante et. al 1989 y 1990.



## SITIOS GEOLÓGICOS EN EL ENTORNO DE SIERRA MAESTRA ORIENTAL

**Rubén Ruiz Sánchez**<sup>(1)</sup>, Iris Méndez Calderón<sup>(1)</sup>, Ramona Rodríguez Crombet<sup>(1)</sup> y Maria Caridad Aguller Martínez<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Empresa Geominera Oriente, Carretera de Siboney Km 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>, Alturas de San Juan, Santiago de Cuba, Cuba, E-mail: [r Ruiz@geominera.co.cu](mailto:r Ruiz@geominera.co.cu)

### RESUMEN

La región de Sierra Maestra Oriental se localiza en el extremo este de la cordillera del mismo nombre bordeando la costa Suroriental de Santiago de Cuba, la geología del territorio se caracteriza por la existencia de varios sitios cuya existencia nos ha permitido conocer la evolución geológica de una región que se relaciona con el evento volcánico más importante ocurrido en el Terciario Temprano en el Archipiélago Cubano, siendo este el único de su tipo, el cual guarda relación con las otras regiones localizadas en el entorno del Caribe fuera de los límites de Cuba.

El recorrido por los distintos sitios geológicos nos permitirá poder apreciar las huellas de la actividad volcánica más reciente en la evolución geológica de Cuba en el ejemplo de la Gran Piedra y las formaciones magmáticas presentes en el territorio (Macizo Intrusivo Daiquiri), al igual que se podrá apreciar la rica y abundante flora y fauna típicas de la región. Este paisaje natural se entremezcla con los restos de una antigua y esplendorosa clase social que emigro de Haití durante la revolución a finales del siglo XVIII y principios del XIX y que vivió de las plantaciones cafetaleras y la explotación de la mano de obra esclava. Las ruinas de los cafetales franceses, nos permitirá apreciar el esplendor de aquella época y la incipiente formación de la nacionalidad cubana y de los criollos al igual que las difíciles condiciones de vida del negro esclavo.

### ABSTRACT

Sierra Eastern Mountain Range region is located in the east extreme of the mountain range of the same name bordering the coast Southeast of Santiago from Cuba, the geology of the territory is characterized by the existence of several places whose existence has allowed us to know the geologic evolution of a region that is related with the most important volcanic event happened in the Early Tertiary in the Cuban Archipelago, being this the only of its type, which keeps relationship with the other regions located in the environment of the Caribbean outside of you limit them of Cuba.

The journey for the different geologic places will allow to be possible to appreciate the prints of the most recent volcanic activity in the geologic evolution of Cuba in the example of the Great Stone and the formations magmatics present in the territory ( Intrusive Daiquiri Massif), the same as one will be able to appreciate the rich and abundant flora and typical fauna of the region. This natural landscape is mingled with the remains of an old and splendid social class that I emigrate of Haiti during the revolution at the end of the XVIII century and principles of the XIX one and that they lived off the coffee plantations and the manpower slave's exploitation. The ruins of the French coffee plantations, it will allow us to appreciate the splendor of that time and the incipient formation of the Cuban nationality and of the Creoles the same as the difficult conditions of the black slave's life.

### INTRODUCCIÓN

El área de la Sierra Maestra Oriental se encuentra ubicada exactamente al este de la ciudad de Santiago de Cuba, en el extremo oriental de la cordillera de la Sierra Maestra y se alarga desde la margen de su costa sur hasta aproximadamente la latitud del poblado de El Escandel. Los límites occidental y oriental pasan respectivamente por las cercanías del poblado de Sevilla y la Laguna de Baconao.

Desde el punto de vista patrimonial la región atesora varios lugares que por su importancia geológica constituyen punto de referencia para la comprensión y el conocimiento de la evolución geológica de Cuba Oriental por el valor didáctico de los Sitios Geológicos



presentes, que deben ser objetivos del conocimiento para los estudiosos y aficionados de la ciencia geológicas. Pero ante todo es necesario entender ¿qué es el patrimonio geológico?

El patrimonio geológico, no es más que los recursos naturales no renovables de valor científico, cultural o educativo y/o de interés paisajístico recreativo, ya sean formaciones rocosas, estructuras, geoformas, acumulaciones sedimentarias, ocurrencias minerales, paleontológicas y otras, que permitan reconocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia geológica de la tierra y los procesos que lo han modelado. Fundamentado sobre la base de tres pilares básicos: lo ecológicamente posible, lo económicamente viable, lo socialmente y culturalmente deseable (Domínguez, L. 2004).

La región de Sierra Maestra Oriental se localiza en el extremo este de la cordillera del mismo y se caracteriza por la existencia de varios sitios cuya existencia nos ha permitido conocer la evolución geológica de una región que se relaciona con el evento volcánico más importante ocurrido en el Paleógeno en el Archipiélago Cubano, siendo este el único de su tipo, el cual guarda relación con las otras regiones localizadas en el entorno del Caribe fuera de los límites de Cuba.



Figura No.1 Mapa geográfico de Cuba y ubicación del entorno donde se encuentran los Sitios

La presencia además de diferentes manifestaciones y depósitos de skarn de Fe que antiguamente se explotaron por compañías norteamericanas en la zona de Firmeza, Concordia y Daiquiri, y que representan las minas de hierro más grandes de Cuba, constituyen un relicto de la culminación del Cretácico (Fm Manacal), el cual se diferencia de las otras regiones del país donde este se desarrolla.

El trabajo presenta en una apretada síntesis las principales características de los sitios geológicos presente en la región y los vestigios y rastros de la explotación minera que conforman el patrimonio de una región que en el pasado siglo fue un importante centro minero en América Latina y en nuestro país.

La rica historia de la región esta caracterizada por la existencia de sitios vinculadas a las luchas de nuestro pueblo, durante la guerra de 1895 y en la gesta de la generación del Centenario en 1953 durante el Asalto al Cuartel Moncada, lo cual constituye un atractivo complementario que nos ayudara a conformar no solo la visión geológica de esta parte del Caribe sino también de las raíces patrióticas del pueblo cubano.



## MATERIALES Y METODOS

Para la confección del trabajo se utilizó la información de los textos que existen sobre la historia de la región y la geología que consta en la bibliotecas de nuestra provincia y el archivo técnico de la Empresa Geominera Oriente. Además se recorrió la zona y se evaluó in situ los afloramientos que por su valor patrimonial geológico e histórico constituyen Sitios Geológicos vinculados con la evolución del Arco Cretácico y Paleógeno en Cuba Oriental y los restos de las ruinas de alto valor históricas en el territorio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Sitios Geológicos

En la región se encuentran rocas de la Formación Manacal del Cretácico, intrusivas representadas por las rocas que conforman el Macizo Daiquiri (Figura 1) y rocas vulcanógenas-sedimentarias de la Formación El Cobre con su mejor exponente en el bloque que conforma la Toba Aglomerática que es La Gran Piedra, ambos sitios constituyen un punto de particular interés para el conocimiento y la comprensión de la geología del Arco Paleógeno de Cuba Oriental.

Como resultado de todo este recorrido se lograron identificar en el territorio varios sitios geológicos relacionados con el Arco Cretácico y la etapa de vulcanismo del Arco Paleógeno en Sierra Maestra Oriental, estos sitios se presentan a continuación:

#### Afloramientos de la Formación Manacal (Arco Cretácico)

Las rocas de la Formación Manacal constituyen un relicto del Arco Cretácico que tuvo su mayor desarrollo en el resto de Cuba y que algunos autores lo vinculan como el basamento del Arco Paleógeno. Esta formación se representa en el territorio por rocas carbonatadas (Foto No.1), las cuales han sufrido procesos de skarnitización y recristalización como consecuencia del metamorfismo de contacto, subordinadamente hay rocas terrígenas y vulcanógenas-sedimentarias.



Foto No.1. Afloramiento de Calizas recristalizadas de la Formación Manacal en la zona de Ocaña, Sevilla.





### Mineralización de skarn de hierro (Mina Antoñica)

Las minas de hierro en la región fueron explotadas intensamente por compañías foráneas fundamentalmente norteamericanas, las cuales dividieron el territorio en varias concesiones operadas por la Juraguá Iron Co., The Sigua Iron Co., The Spanish-American Iron Co. y The Steel Ore Co. La composición del mineral que se extrajo durante la época según los ensayos químicos es el siguiente:

Tabla No. 1 Composición de las menas de hierro extraída durante el período 1896-1916 (Tomado de Soto, L. 1981)

Años	Fe %	SiO <sub>2</sub> %	P %	S %
1896	63	7.5	0.025	0.04
1916	59	10.5	0.025	0.5

Unos de los Sitios de alto valor donde se puede apreciar los relictos del Cretácico (Formación Manacal) en la región y restos de la actividad minera lo constituye la cantera de la mina de skarn de hierro magnetítico Antoñica (Fotos No. 2 y 3)

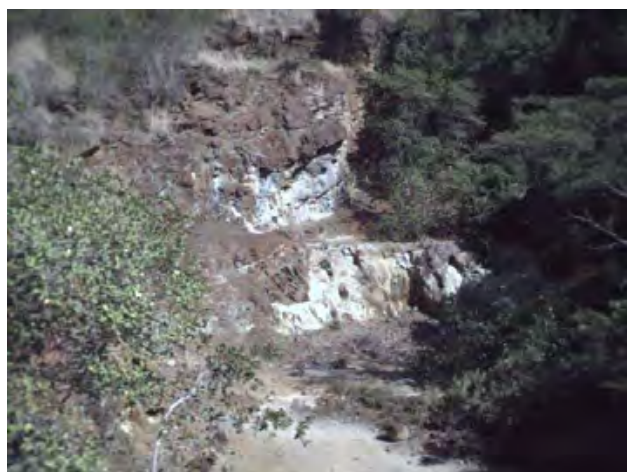


Foto No. 2 Cantera de la Mina Antoñica



Foto No. 3 Escombreras de la Mina Antoñica

### Rocas Vulcanogenas Sedimentarias del Grupo El Cobre

El valor didáctico de los sitios geológicos en la región relacionados con el vulcanismo terciario se encuentran tipificadas en los afloramientos perteneciente a el Grupo El Cobre con el cual se relaciona la ultima etapa del vulcanismo que dio origen al Archipiélago Volcánico en el Paleógeno en la Sierra Maestra. Estos afloramientos están representados por rocas piroclásticas, tobas lapillicas (Foto No.4), aglomeráticas (La Gran Piedra), lavoclásticas, lávicas y sedimentarias-vulcanogenas, con una composición dominante basáltica y andesítica-basáltica y un grado de diferenciación de sus productos volcánicos desde basálticos hasta riodacíticos.





Foto No. 4 Afloramiento de Toba lapilílica media-básica en el Río Sigua

#### Macizo Intrusivo Daiquiri

El cuerpo intrusivo está constituido en su mayor parte por rocas ácidas tonalítico-plagiogranítica del Eoceno-Medio. Estas rocas fueron divididas por Fuentes, I. 1989 en dos complejos: Temprano, El Norte y Tardío, Daiquiri. El Complejo El Norte constituye la periferia del macizo y está constituido por rocas de la asociación gabro-diorítico-plagiogranítica (Foto No 5. Afloramiento del río Carpintero) y el segundo que cubre la mayor parte está formado por rocas de la asociación tonalito-plagiogranítica de las series sódica y sódico potásica. Ambos complejos fueron subdivididos en cuatro distintas fases.



Foto No 5. Afloramiento de Dioritas Cuarcíferas, Río Carpintero

#### **Otros de Sitios de Interés Histórico**

##### Rastros del Ferrocarril Minero

Uno de los ferrocarriles más costosos y complejos que se construyó en este período expansionista del capital monopolista en la minería en Cuba, fue el ferrocarril de Sigua.

El ferrocarril comenzó su construcción en 1892 y fue explotado en los años 1893-1898 extrayéndose mas de 30 000 toneladas de mineral. El mismo era un ramal de 12 km que bordeaba y cruzaba el cauce del río Sigua ininidad de veces con 45 puentes (Foto No 6. Restos de los pilotes del ferrocarril minero que atravesó la región) de cuatros diferentes y longitudes que subían hasta los criaderos que se encontraban a 196 m sobre el nivel del mar (Aldana, J. 1979).



El mismo conectaba todas las minas en explotación en Sigua, Daiquiri, Juraguá y Firmeza y se extendía hasta el Puerto ubicado en Daiquiri o en la Ensenada de la Cruz por donde se exportaba el mineral a los Estados Unidos; aún en nuestros días permanecen rastros de las vías férreas en las distintas minas que conforman el Campo mineral Hierro-Santiago y en la Playa de Daiquiri .



Foto No.6 Pilotes construidos con las calizas de la región que sirvieron de soporte al ferrocarril minero.

#### Sitio del desembarco de las tropas norteamericanas en 1898

Sitio Histórico (Foto No.7) donde radicó después del desembarco el Estado Mayor de las tropas del General Shaffter y el hospital de las Fuerzas Norteamericanas y Mambisas después de la Batalla en las Guásimas, el mismo está construido con minerales de Hierro del grupo de minas de Juraguá y Daiquiri perteneciente a las concesionaria Juraguá Iron Company en 1907.



Foto No. 7 Lugar donde radicó el Estado Mayor de las Tropas Norteamericanas en Playa Siboney

#### Ruinas de los Cafetales Franceses

La región tiene como peculiaridad la proliferación de restos de numerosos cafetales franceses que se asentaron en las montañas de la Sierra de la Gran Piedra y tuvieron su época de esplendor en la primera mitad del siglo XIX, los caminos (Camino de Matayegua -



El Carmen) , los acueductos utilizados y el sistema de construcción nos adentra en una cultura que dejó raíces e influjo en la formación de la nacionalidad cubana (Café El Tivoli, Santiago de Cuba). Estos restos de cafetales que conjuntamente con las ruinas de Guantánamo forman un conjunto patrimonio de la humanidad se localizan en la espesura (Foto No 8) de los montes y muchas veces constituyen hogares de los pobladores de la zona. El mejor exponente de esas construcciones se presenta en nuestros días en el museo Cafetal La Isabelica distante a 600 m del motel La Gran Piedra.



Foto No. 8. Ruinas Francesas del área Limoncito-Chalía

### PROPUESTA DE RECORRIDOS GEOTURISTICO

Partiendo de la base del potencial que presenta la región como vía alternativa de turismo de opción, encontrándose en una zona rica en historia y en eventos relacionados con la evolución de Cuba y el Caribe, teniendo las instalaciones para el disfrute de los visitantes, se proponen dos recorridos geoturístico con descanso en el Motel La Gran Piedra y/o en los Moteles Bucanero, Costa Morena y Carisol y se recomiendan estos en los planes de Ordenación Territorial en la provincia de Santiago de Cuba.

La propuesta de recorridos es la siguiente:

**Ruta No 1:** Salida de Santiago de Cuba-Carretera de Siboney-Sevilla-Soledad-Carretera de Siboney-Carretera de La Gran Piedra-Gran Piedra.

**Ruta No 2:** Salida de Santiago de Cuba-Carretera de Siboney-Carretera de Baconao

En la Ruta No 1 se podrán apreciar los afloramientos correspondientes a los Sitios Geológicos vinculados con los relictos del cretácico en la región y su mineralización acompañante (Calizas Manacal, Mina Antoñica), el vulcanismo paleógeno (La Gran Piedra), la actividad intrusiva periférica (Afloramientos del Río Carpintero) y las ruinas de los cafetales franceses (La Isabelica).

La Ruta No 2 presenta una visión de la antigua minería realizada en el territorio (Minas de Firmeza y Daiquiri), los restos del sistema de transporte y embarques (Ferrocarril Minero y Restos del Muelle en Daiquiri) y el mayor desarrollo de la actividad intrusiva del Macizo Daiquiri.



## CONCLUSIONES

- La región de Sierra Maestra Oriental constituye un lugar atractivo para el conocimiento de la evolución de una parte del Archipiélago Volcánico del Paleógeno a través de los afloramientos que constituyen los Sitios Geológicos.
- Las rutas propuestas permitirán conectar a los estudiosos y aficionados de la Geología Oriental con un Segmento de la Evolución Geológica de la Isla de Cuba, que aún encierra muchas incógnitas.
- La imbricación de los sitios geológicos con el entorno que nos ofrece en territorio a través de su historia y sus instalaciones turística constituyen una alternativa a tener en cuenta en los planes de ordenamiento territorial

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aldana, J., 1979. Azúcar, minería: los primeros ferrocarriles en Cuba (1837-1937). Editorial Oriente. Santiago de Cuba, Cuba, 183p.
- Domínguez, L., 2004. Potencial geólogo-geomorfológico patrimonial de la región de Moa para la propuesta de un modelo de gestión. X Jornada Científico-Técnica de la Sociedad Cubana de Geología. Geociencias Santiago 2004. Resúmenes
- Martins, L., P. Carrión, 2003. Integración de la Minería en la Ordenación del Territorio. Editores Luis Martins y Paul Carrión, CYTED. Centro de Investigación Científica y Tecnológica. ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 229p.
- Soto, L., 1981. Apuntes sobre la historia de la Minería Cubana. Editorial Oriente. Santiago de Cuba, Cuba, 121p.
- Fuentes, I., R. Rodríguez., 1989. Características petrográficas de las rocas magmáticas de la Sierra Maestra. Trabajo de Diploma, ISMM-Moa, Holguín, Cuba.



## DESARROLLO MINERO METALURGICO Y SUS PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES EN CUBA

Dr. Ing. José Falcón Hernández <sup>(1)</sup>, M. Sc. Ing. Juan V. Rams Veranes <sup>(2)</sup>

(1) Facultad de Química, Universidad de Oriente Universidad de Oriente. Sede "Julio Antonio Mella". Dpto. Mecánica y Diseño. Ave. de las Américas s/n. Santiago de Cuba.

(2) Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción. (CTDMC). Filial Santiago de Cuba. Calle 7 Esquina M. Terrazas Vista Alegre. Teléfono 053 (22) 643484. Email: [david@matstgo.co.cu](mailto:david@matstgo.co.cu).

El presente trabajo contiene un análisis del desarrollo de la industria minero metalúrgica cubana y sus impactos en el medio ambiente. Se realiza una breve descripción histórica de la explotación de diferentes yacimientos minerales y de los volúmenes de producción alcanzados, lo que permite tener idea de las magnitudes de extracción, de colas generadas y de contaminación debido a los materiales consumidos. Además, conocer como se fueron desplazando los sistemas de explotación subterráneos, por los de cielo abierto con sus consecuencias para el entorno.

Las diferencias entre la explotación minero metalúrgica antes y después del triunfo de la Revolución Cubana es analizada con vistas a establecer su repercusión sobre la situación del impacto que genera esta industria. A partir de la década de los 60 del siglo XX el incremento en la industria de materiales de construcción trajo aparejado efectos sobre todo el territorio nacional que anteriormente se concentraba en las provincias orientales y Pinar del Río. También la minería subterránea prácticamente desaparece con un incremento significativo de la explotación a cielo abierto.

El desarrollo de los recursos humanos requeridos para la actividad minero metalúrgica y la humanización de la actividad minera es un distintivo de esta etapa.

La desaparición del Campo Socialista y el denominado Periodo Especial tiene consecuencias negativas muy marcadas en la explotación minero metalúrgica, aunque hay que señalar que la producción de níquel y cobalto y la extracción de petróleo crudo cubano mantienen un ritmo ascendente hasta la actualidad.

Por último, consideraciones sobre las medidas para minimizar los impactos producidos por la producción minero metalúrgica en la etapa actual son informadas.



## **VALORACIÓN DEL PELIGRO DE INICIO DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE EL EMPLEO DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

**Orlando R. Carraz Hernández, Karel Pérez Alejo**

*Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127. Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: [orlando@civil.cujae.edu.cu](mailto:orlando@civil.cujae.edu.cu)*

El incremento del número de incendios forestales y de las pérdidas económicas asociadas a tales siniestros han llevado al diseño e implementación de herramientas que permitan definir áreas de alta susceptibilidad para el inicio de un fuego forestal. Una de las herramientas más efectivas elaboradas con este fin son los Sistemas de Información Geográfica. En este artículo, mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se evalúan factores como la vegetación, la actividad humana, la insolación y la altitud para obtener una nueva versión del mapa de peligro de inicio de incendios forestales para la República de Cuba a escala 1:250 000, el cual tendrá su mejor utilización en el Servicio Nacional de Guardabosques en trabajos relacionados con la prevención y monitoreo de incendios forestales. La metodología utilizada consiste en una adaptación de las propuestas por otros autores y ha demostrado en la práctica una alta correlación con la ocurrencia de incendios forestales en el territorio nacional. Su empleo sentará las bases para otros empeños de mayor dificultad: el estudio, incluyendo la modelación física, del fenómeno de la propagación del fuego forestal.





## PROPUESTA METODOLOGICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD (SIS), EN REGIONES MINERAS DE IBEROAMERICA

Diosdanis Guerrero Almeida<sup>1</sup>, Rafael Guardado Lacaba<sup>2</sup>, Roberto Blanco Torrens<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doctor en Ciencias Técnicas. Ingeniero de minas. Profesor Asistente del Departamento de Minería del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez". Las Coloradas S/N. Moa. Holguín. Cuba. CP: 83329. Telef.: 6-8190. Fax. (53) (24) 6-2290. e-mail: [dguerrero@ismm.edu.cu](mailto:dguerrero@ismm.edu.cu)

<sup>2</sup> Doctor en Ciencias Técnicas. Ingeniero Geólogo. Profesor Titular del Departamento de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez". Las Coloradas S/N. Moa. Holguín. Cuba. CP: 83329. Telef.: 6-8190. Fax. (53) (24) 6-2290. e-mail: [rguardado@ismm.edu.cu](mailto:rguardado@ismm.edu.cu)

<sup>3</sup> Doctor en Ciencias Técnicas. Ingeniero de minas. Profesor Titular del Departamento de Minería del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez". Las Coloradas S/N. Moa. Holguín. Cuba. CP: 83329. Telef.: 6-8190. Fax. (53) (24) 6-2290. e-mail: [rblanco@ismm.edu.cu](mailto:rblanco@ismm.edu.cu)

### RESUMEN

Los indicadores de sostenibilidad en la minería constituyen una herramienta fundamental para alcanzar el desarrollo minero sostenible deseado. Se elaboran para medir el progreso alcanzado en este sector, con el propósito de servir de base para brindar la información clara y precisa, promover la preocupación necesaria, y la toma de decisiones; representan un valor de información acerca del estado, tendencia o cambio del ambiente y la actividad minera.

Estos indicadores, relacionan la actividad geológico - minera, con lo económico-social y la ambiental, brindando el estado sobre el deterioro, la contaminación del medio y la calidad de vida de la población generado por la actividad minera.

El presente trabajo representa un paso adelante para lograr el desarrollo minero sostenible en Iberoamérica. Constituye el resultado de las investigaciones realizadas a partir del conocimiento de la actividad minero-metalúrgica y experiencias adquiridas en este sentido; lo que fundamenta un sistema, como proceso dinámico y cambiante en el que participaron las partes interesadas: empresas mineras, comunidad, administraciones territoriales, instituciones y organizaciones científicas, ambientalistas y otros.

En él se aborda la línea metodológica básica para el diseño de un sistema de indicadores de sostenibilidad (SIS) en el cual se estudiaron los procesos y fenómenos que inciden en la actividad minera de Iberoamérica. Entre los métodos científicos aplicados para la recogida y procesamiento de la información, se destacan las consultas de expertos, Ishikagua, y el llamado método cartesiano. Los resultados obtenidos son fruto de investigaciones multidisciplinarias y se caracterizan por su gran flexibilidad y aplicabilidad.

**Palabras claves:** desarrollo minero sostenible, geopotencial, indicadores mineros sostenibles, medio ambiente.



## DESARROLLO

### Introducción

Si se realiza en apretada síntesis una valoración general del desarrollo de la minería iberoamericana, se aprecia que estos países presentan realidades diferentes. Históricamente, han sido productores y exportadores de minerales y metales, cuyo aporte al consumo de sus recursos naturales es modesto.

Esta tendencia se pronostica mantener en la presente década, ya que por una parte, no se esperan grandes variaciones en su consumo, y por otro, la cartera de inversiones mineras en la región, para los futuros años es cuantiosa y de materializarse, la minería debería seguir creciendo más rápido que la del resto del mundo.

Ello forma parte de un escenario con una minería dinámica, con nuevas tecnologías, con renovado ímpetu modernizador en lo económico, ambiental y social, con una rentabilidad privada posiblemente atractiva y con mayor recaudación potencial de impuestos por parte de los estados. De aquí que este escenario debería ser más favorable como contribución al desarrollo sostenible, que el de años atrás. Esta observación se refiere, sin embargo, a las grandes empresas mineras, a algunas de mediano tamaño, pero no a la minería artesanal ni a la pequeña minería, la que justificadas por su contribución social, seguirán requiriendo de apoyo financiero, tecnológico y ambiental por parte de los estados para poder subsistir, [MMSD, (2003)].

Dada la variedad de las características de cada escenario minero y la complejidad de los procesos de minado, se hace necesario desarrollar y hacer operativo un sistema de indicadores basado en: la necesidad de contar con una información adecuada para la toma de decisiones y para darle seguimiento a las mismas en aras de alcanzar el desarrollo sostenible y; satisfacer las demandas de información sobre los problemas económicos, ambientales y sociales existentes en cada caso concreto.

En la minería mundial y en la iberoamericana en particular, se tratan una serie de indicadores geológicos, mineros, ambientales, y técnicos-económicos, pero hasta la fecha no se han logrado integrar a través de un sistema de indicadores de sostenibilidad. Esta necesidad surge dada la incapacidad que presentan los indicadores convencionales para dar cuenta de los fenómenos, problemas, o procesos relacionados con la minería en sus múltiples dimensiones (económica, social, ambiental e institucional).

Un **indicador de sostenibilidad minero** es un valor que sirve para medir y comunicar información de la actividad minera. Permite representar un conjunto de datos en tiempo y espacio, generados por el comportamiento de una tendencia que muestra la minería y los sistemas que en ella intervienen y sirve para la toma de decisiones: hacia dónde y cómo se quiere llegar, cómo medir las metas, el alcance de visión y misión de la actividad minera iberoamericana.

### 1. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1.1 Metodología para la formulación del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)

La presentación de un número determinado de indicadores por áreas o temas de sostenibilidad minera, requiere que estos se encuentren organizados en un marco lógico que ayude a su integridad y comunicación. Esta organización analítica se desprende, por lo tanto, de la función del medio de información de los indicadores, más que de sus prioridades intrínsecas, depende en definitiva de la utilidad que estos deben presentar. En la literatura se pueden encontrar diversos marcos de análisis



para la organización de los indicadores, entre los que se destacan: marco analítico, estructura promedio, marco sectorial, marco causal y el enfoque especial, [Guerrero y Guardado, (2003)].

Para el diseño metodológico de un **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**, que responda a las condiciones mineras de los países iberoamericanos, se consideró necesario primeramente, estudiar los procesos y fenómenos que inciden en dicha minería; a través de la recogida y procesamiento de la información, donde se aplicaron métodos teóricos, empíricos y estadísticos tales como: consultas con expertos, Ishikawa, y el llamado método cartesiano.

Además de especialistas nacionales, se consultaron a 100 expertos de 14 países en todo el mundo. Esta labor se ejecutó a partir de contactos directos, en reuniones de 4 redes internacionales pertenecientes al programa CYTED; (Ordenamiento Territorial, Geomecánica, Pequeña minería y la pre-red sobre Indicadores de sostenibilidad); así como en los diferentes eventos donde se han expuesto los resultados de esta investigación. Otra forma empleada, fue a través de intercambio de información por vía electrónica.

## 2. RESULTADOS

El diseño del **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**, para la minería iberoamericana se inicia con la propuesta de una metodología (**Ver Figura 1**), que permite identificar los principales problemas que influyen en la sostenibilidad de cada escenario minero. Esta metodología se basa en organizar a partir de los resultados obtenidos del diagnóstico territorial realizado en cada país, diferentes grupos investigativos los cuales van a colaborar en la identificación de las afectaciones y problemas existentes en las minas, analizar el comportamiento de los indicadores tradicionalmente empleados en la minería, la selección del **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**, su valoración y procesamiento de los resultados finales.

### Insertar Figura 1

#### 2.1 Organización de grupos de investigación

Es el primer paso del acercamiento a las unidades mineras y las comunidades para elaborar un **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**. Esta actividad se inicia con el diagnóstico de los procesos tecnológicos mineros de cada escenario, (exploración, desarrollo, extracción, acarreo, mantenimiento, beneficio); para lo cual se toma como muestra el comportamiento de la minería en un período determinado.

Para la organización de los grupos investigativos, es necesario identificar los actores y organizaciones claves, para lo cual se establecerán contactos con los trabajadores y directivos mineros a través de reuniones, consultas, entrevistas, conferencias y talleres donde se organizan, según las características de cada escenario, los diferentes grupos de especialistas que trabajarán durante el diseño del **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**.

#### 2.2 Identificación de problemas y objetivos

Un proyecto de desarrollo de indicadores de sostenibilidad para la minería, en parte, se basa en la carencia de soluciones a los problemas que se presentan durante la explotación de un yacimiento determinado. La realización de la identificación de los problemas relevantes de los escenarios a valorar se llevará a cabo sobre la base de los datos disponibles en cada unidad minera, y la reducción de listas, teniendo en cuenta el nivel de incidencia de cada afectación al proceso productivo.

Con la identificación de los problemas, se realiza la definición de los objetivos de trabajo, donde se tiene en cuenta la planeación estratégica de la unidad minera en la



etapa analizada; labor que está dada según las características intrínsecas del sistema y constituye una pieza esencial de carácter sociopolítica. Estas actividades deben llevarse a cabo a través de un proceso interdisciplinario, interinstitucional y abierto; sobre la base del diagnóstico minero territorial.

### **2.3 Estructura analítica del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS) y selección de los temas**

La definición del marco analítico es una labor de carácter más técnico, pero al igual que la selección de temas está determinada por los objetivos sociales del sistema geo-minero y por el proceso de información y toma de decisiones a que va dirigido. Se incorporarán aquellas temáticas y se enfocarán de forma tal que los objetivos, valores y metas respondan a la misión, visión y política social de la unidad geo-minera de manera que queden satisfactoriamente resueltos todos sus elementos. Esta fase es particularmente importante pues fija el núcleo explicativo básico del sistema y determina el ámbito explicativo y la interpretabilidad de los indicadores.

### **2.4 Investigación y desarrollo**

Una vez fijado el núcleo de temas se inicia el proceso de investigación y recopilación de información en torno a las relaciones causales conocidas en cada caso, mediante la revisión de datos la información bibliográfica y las discusiones de expertos.

A partir de esta investigación se genera un modelo causal simple del tipo, presión estado respuesta y sostenibilidad, (similar al difundido por la OECD, en 1993), con lo cual se investiga la disponibilidad de información relacionada con el modelo. En las primeras fases se tratan de captar en profundidad las relaciones causales y con ello los indicadores que mejor puedan determinar cuales son las condiciones reales del medio y las tendencias de su estado.

En esta fase del trabajo se emplean criterios de selección de variable de una manera informal entre las que predomina la validez científica de las variables descriptiva, su representatividad, su capacidad para responder a los cambios, etc.; es decir, todos aquellos elementos que permitan cualificar al indicador como una variable clave en la descripción de cualesquiera de las fases del modelo presión, estado, respuesta y sostenibilidad. Esta etapa culmina con el diseño del modelo de indicadores de **Presión-Estado-Respuesta** a partir de la adaptación en cada escenario minero.

Los indicadores de **Presión** en la minería iberoamericana, pueden identificarse con el uso de tecnologías de exploración, explotación y el proceso de mineralurgia. Definen la acción o actividad minero-metalúrgica para cumplimentar este objetivo. Los indicadores de **Estado** definen los cambios resultantes en la calidad de los recursos naturales, se identifican con las características y propiedades geólogo-mineras del macizo rocoso, así como con las afectaciones a los componentes del medio ambiente.

Los Indicadores de **Respuesta** representan el monitoreo de las acciones tomadas a todos los niveles (locales, regionales o nacionales), desde las etapas iniciales de la minería hasta su cierre definitivo; lo que contribuye a la formulación de opciones para trabajos futuros en término de la adopción de programas de conservación y uso racional y sostenible de los recursos naturales. En la **Figura 2**, se refleja un modelo de **indicadores de presión, estado y respuesta** para los escenarios mineros.

### **Inserta Figura 2**

### **2.5 Propuesta de indicadores de sostenibilidad**

Una vez superada la fase anterior, se realiza una propuesta de indicadores, para lo cual se aplican criterios de selección propios del sistema sin que se establezcan



prioridades en esta fase. Adquieren gran importancia como criterios de selección, la disponibilidad y adecuación de datos, su validez científica y la representatividad.

La identificación de los indicadores de sostenibilidad se realiza aplicando en cada escenario minero, aquellos métodos científicos que permitan obtener la información más confiable y actualizada de la situación minera. En la **Figura 3**, se muestra un ejemplo de **Sistema de Indicadores de sostenibilidad (SIS)**, diseñado para minas cubanas, a partir de la aplicación del método Ishikawa.

### **Inserta Figura 3**

Para ello se partió del análisis del **Geopotencial, (GP)**; entendiéndose éste como: “la capacidad que tiene el territorio de ofrecer la totalidad de recursos y de restricciones inherentes al conjunto de elementos del sistema natural y el sistema antropogénico y la medida de su importancia tanto patrimonial o de conservación, como estratégica o de producción económica y de sensibilidad o afectación potencial del medio y la sociedad”, [Molina, (2002)].

Los recursos son principalmente geológicos, (potencial geológico) y ambientales, (potencial ambiental). Esta nueva concepción incluye además a las excavaciones mineras y tecnología de explotación, (potencial minero), así como las relaciones sociales y económicas, (potencial socio-económico), desarrolladas como consecuencia de la explotación minera de un yacimiento determinado, [Guerrero, (2002)].

El **Potencial Geológico (PG)**, está relacionado con la capacidad que tiene el territorio de ofrecer recursos minerales con calidad, cantidad y en condiciones de explotabilidad que favorezcan su aprovechamiento minero, [Sánchez, (2002)]. Constituye un factor básico ya que refleja el tipo del relieve, la constitución, estado y estructura geológica, propiedades físico mecánicas de las rocas y el mineral, así como las amenazas y riesgos geodinámicos de una región determinada. Los principales indicadores que forman parte de este potencial son: el tipo de roca (ltr), factor del terreno (lft), la explotabilidad (lex), el factor de aprovechamiento de las reservas (lar) y el factor de ocurrencia de fenómenos naturales y riesgos geodinámicos (lfr).

El **Potencial Ambiental (PA)**, está relacionado con la incidencia de la actividad minera sobre el medio ambiente. Entre los elementos que se tienen en cuenta para la determinación de los indicadores de este potencial se destacan la flora, fauna, aire, agua, los suelos y el paisaje. Los principales indicadores que forman parte de este potencial son: el impacto atmosférico (lat), impacto hídrico (lih), impacto al suelo (lis), impacto ecológico (lec) y la calidad del paisaje, (lcp).

El **Potencial Minero (PM)**, se identifica con la explotación de los recursos minerales. Tiene como objetivo valorar la explotación minera y su incidencia en las comunidades y el medio natural. Para su determinación se tienen en cuenta los procesos tecnológicos de exploración, desarrollo, explotación, carga y transporte, tratamiento y beneficio de minerales. Está relacionado con la tecnología minera y el Proyecto del cierre de las actividades mineras, [Blanco et al, (200)].

Los principales indicadores que integran este potencial son: producción minera, (lpm), coeficiente general de destape, (lgd); utilización integral de los recursos minerales (lur); tiempo de adelanto de los trabajos de preparación (ltp); gestión minera, (lge); volumen de residuales, (lvr); pérdidas mineras, (lpe); seguridad de los trabajos mineros, (lsm); utilización de los espacios mineros, (lem); rehabilitación del terreno, (lrt); patrimonio geológico y minero, (lpg) y el proyecto de cierre de las actividades mineras, (lpc).





El **Potencial Socio-Económico (PSE)**, se identifica con la capacidad que tiene la sociedad para relacionarse con el sistema natural y transformar sus recursos en bienes y servicios con el fin de reproducir mejores condiciones de vida, pero sin forzar al medio natural y antropogénico por encima de su disponibilidad real, [Molina, (2002)]. Está relacionado con la cantidad de trabajadores; su nivel profesional; las comunidades vecinas, los costos de producción y el mercado,

Los principales indicadores de sostenibilidad identificados en este potencial son: capacidad de empleo, (Ice); profesionalidad de los trabajadores, (Ipt); nivel de satisfacción de la fuerza de trabajo (Isf); cantidad de obligaciones legales cumplidas (Icl); nivel participativo comunitario, (Inp); valor social para la comunidad, (Ivs); costo unitario, (Icu) y el nivel de satisfacción de la demanda, (Ins).

## **2.6 Desarrollo y revisión final del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS).**

En esta fase los criterios más próximos a los usuarios adquieren relevancia aunque los aspectos conceptuales y de validez científica siguen vigentes. Después de la revisión empresarial y pública, se inicia una nueva ronda interna de revisión y consulta externa significativa con los grupos y expertos. En esta fase los criterios relacionados con el uso final de los indicadores de sostenibilidad se vuelven prioritarios.

El resultado de esta etapa es el conjunto de indicadores propuestos como representativos de las preocupaciones empresariales y sociales del estado del medio. Además de señalar la relevancia del proceso de elaboración del **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**, dentro del conjunto, merece la pena indicar la importancia que adquieren los aspectos participativos en esta fase del proceso.

## **2.7 Valoración del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS), para el proceso de toma de decisiones**

El **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**, ya definido entrará a formar parte del ciclo de toma de decisiones de la empresa, para alcanzar el desarrollo minero sostenible. Su utilización es necesaria emplearla dentro del proceso de información y toma de decisiones de la mina para establecer prioridades en la obtención de datos.

Los indicadores sirven para mostrar las lagunas de conocimiento existente; ayudar a orientar los recursos disponibles en la dirección más adecuada y hacer evaluaciones de las capacidades y potencialidades existentes en cada escenario minero. Pueden servir también, para definir las necesidades en una empresa geo-minera con vista a establecer y aplicar un sistema de indicadores de sostenibilidad adecuado.

El **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**, por sus características propias, sólo tendrá éxito si pasa por una profunda valoración geo-minera o sociopolítica institucional y será eficaz en la medida en que sus usuarios finales, validen cada uno de los momentos en los que la decisión tiene un carácter eminentemente minero sostenible. Para esto, se deben tener en cuenta los recursos presentes en cada escenario, (potencial geológico, minero, ambiental y socio-económico), para lo cual se propone la utilización de una escala numérica, de acuerdo con el nivel de influencia en el logro de la sostenibilidad minera.

Además de este valor, a cada indicador se le asigna un coeficiente de ponderación o peso, que permite determinar su importancia con relación a los demás. Dichos coeficientes deben ser resultado del consenso entre los profesionales que participan en el análisis. Para su determinación se deben estudiar los principales objetivos de





los procesos tecnológicos de cada unidad minera, a partir del trabajo en grupo y el uso de su documentación técnica.

## **2.8 Validación del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**

La evaluación del **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad** es un proceso a través del cual se recoge e interpreta, formal y sistemáticamente la información pertinente sobre un programa de desarrollo minero sostenible. Se producen juicios de valor a partir de esa información y se toman decisiones conducentes a mantener, proyectar, reformar o eliminar los elementos del sistema o su totalidad. Para esto se requiere: validar y hacer explícito el sistema de indicadores; comprobar e interpretar sus logros y mejorar el sistema.

Para valorar lo realizado hasta el momento, se deben tener en cuenta los siguientes criterios: logros del proyecto; principales obstáculos encontrados, efectividad del sistema para la identificación de problemas, perspectivas futuras, presencia de capacidad organizativa necesaria para seguir actualizando los datos; nuevos retos y las nuevas acciones y estrategias a llevar a cabo.

Para cumplir esta etapa, es importante retomar las anteriormente señaladas y verificar qué se ha hecho bien o mal. Esto no es el fin del proceso, el desarrollo de indicadores de sostenibilidad para la minería, es un proceso circular, lo que implica que deben repetirse las etapas que así lo requieran. Una revisión periódica de cada una de ellas, es necesario ya que la minería se encuentra en constante cambio y evolución en tiempo y espacio. En el mejor de los casos, algunos de los problemas detectados son resueltos en un breve periodo de tiempo y por tanto los indicadores relacionados con ellos tienden a disminuir su nivel de incidencia en el proceso, otros nuevos aparecen o se hacen visibles; sin embargo, la lista básica de los indicadores no cambia muy a menudo.

De esta manera, el proceso que conforma el **Sistema de Indicadores de sostenibilidad (SIS)**, permitirá establecer procedimientos para certificar públicamente la calidad que reúne, dentro de la entidad geólogo y minería. La información suministrada, posibilita la toma de decisiones con calidad, seguridad y rapidez. En esta etapa la validación del sistema es un voto de confianza sobre la suerte y futuro del sistema en un contexto de desarrollo minero sostenible, constituyendo así un requisito básico.

## **3. CONCLUSIONES**

La metodología propuesta para el diseño del **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**, permite identificar los principales problemas que influyen en la sostenibilidad de los escenarios mineros iberoamericanos. Está basada en los resultados del diagnóstico territorial, obtenidos por diferentes grupos investigativos que analizaron las afectaciones y problemas existentes en las minas y el comportamiento de los indicadores tradicionalmente empleados en la minería de esta región.

La metodología demostró la necesidad de la aplicación del **Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS)**, en el proceso de información y toma de decisiones y sirve para mostrar las lagunas de conocimiento existente; orientar los recursos disponibles en la dirección más adecuada; y valorar las capacidades y potencialidades en cada escenario minero iberoamericano.

## **Referencias Bibliográficas**

1. Blanco Torrens R., R. Wátson Quesada y D. Guerrero Almeida, (2000). Abandono y Cierre de Minas. En: Cierre de Minas: experiencias en Iberoamérica. Edit:



- CYTED/IMAAC/UNIDO. [ISBN: 857227132-5]. Río de Janeiro, Brasil, p. 274-286.
2. Guardado, Lacaba, R., (2002): Indicadores de sostenibilidad para el territorio minero metalúrgico de Moa. Jornadas iberoamericanas sobre Indicadores de Sustentabilidad para la industria extractiva minera. Carajás, Brasil.
  3. Guerrero Almeida D. y R. Blanco Torrens, (2002). General Criteria of the Sustainability for Mining Activity. En *Indicators of Sustainability for the mineral extraction industry*. [ISBN: 857227-164-3]. Río de Janeiro: CNPq/CYTED, p. 89-110.
  4. Guerrero Almeida D. y R. Blanco Torrens, (2002). Criterios generales de sostenibilidad para la minería. Disponible en <http://200.20.105.7/cyted-xiii/publicaciones.htm>.
  5. Guerrero Almeida D., R. Guardado Lacaba y R. Blanco Torrens, (2003). La conservación del patrimonio geológico y minero como medio para alcanzar el desarrollo sostenible. *Minería y Geología*. 20(1). [ISSN: 02585979]. Moa. Cuba.
  6. Guerrero Almeida D, (2003). Sistema de indicadores mineros para la explotación sostenible de los yacimientos minerales. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Geología y Minería del ISMMM. Centro de Información Científico Técnica. 257 p.
  7. Mining Minerals and Sustainable Development Project, (MMSD), (2002). Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable en América del Sur. Equipo de América del Sur. Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente, CIPMA y el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, IDRC- Iniciativa de Investigación sobre Políticas Mineras, IIPM. 624 p.
  8. Molina, E. J, (2002). Los recursos minerales y la minería como componente del medio físico en la planificación territorial en Colombia. En: La minería en el contexto de la ordenación del territorio. Capítulo II. Geopotencial. Edit: CNPq/CYTED. Río de Janeiro. p: 171-195.
  9. OECD, (1993). Organization for economic Cooperation and Development Core Set of Indicators Environmental Performance Review. A Synthesis Report by the group on the State of the environment. Paris. Francia.
  10. SCOPE, (1996). Scientific Committee on Problems of the Environment. Scientific Workshop on Indicators of Sustainable Development. Wuppertal, Germany, November 15-17, 1995. Report edited by S. Billharz and B. Moldan. Charles University Environmental Center, Prague.

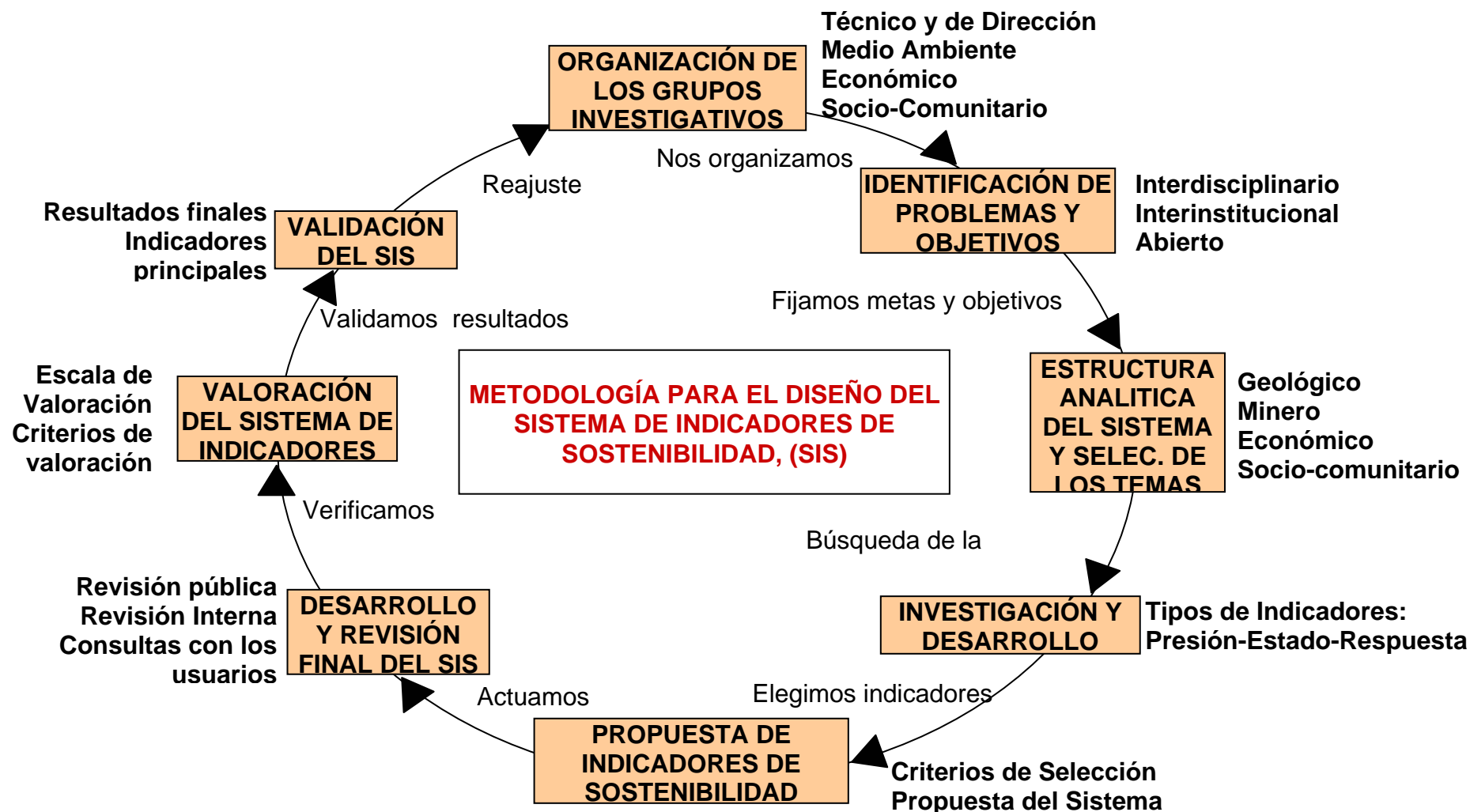


Figura 1. Metodología para el diseño del Sistema de Indicadores de Sostenibilidad (SIS); [Guerrero, (2003)].

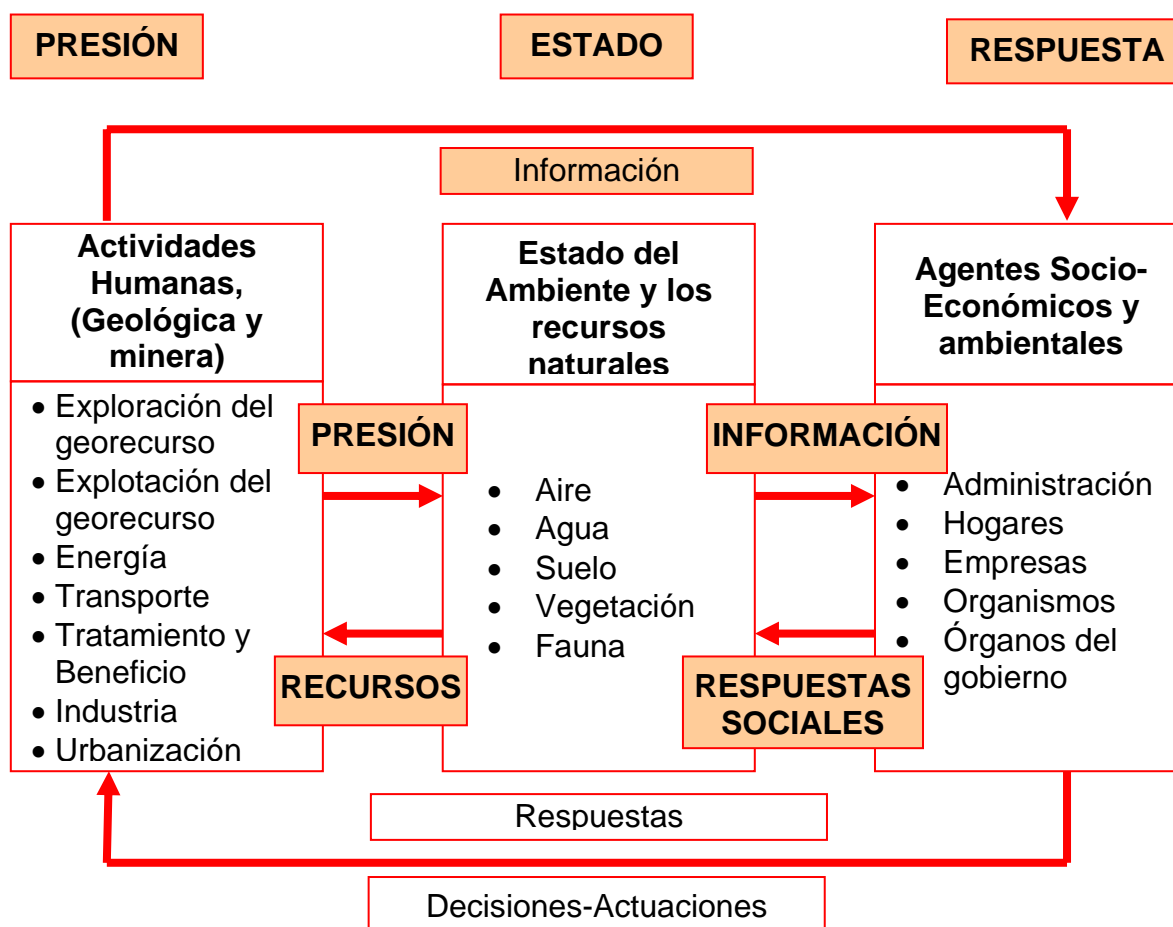


Figura 2. Modelo de indicadores de presión, estado y respuesta para los escenarios mineros, [Guerrero, (2002)].

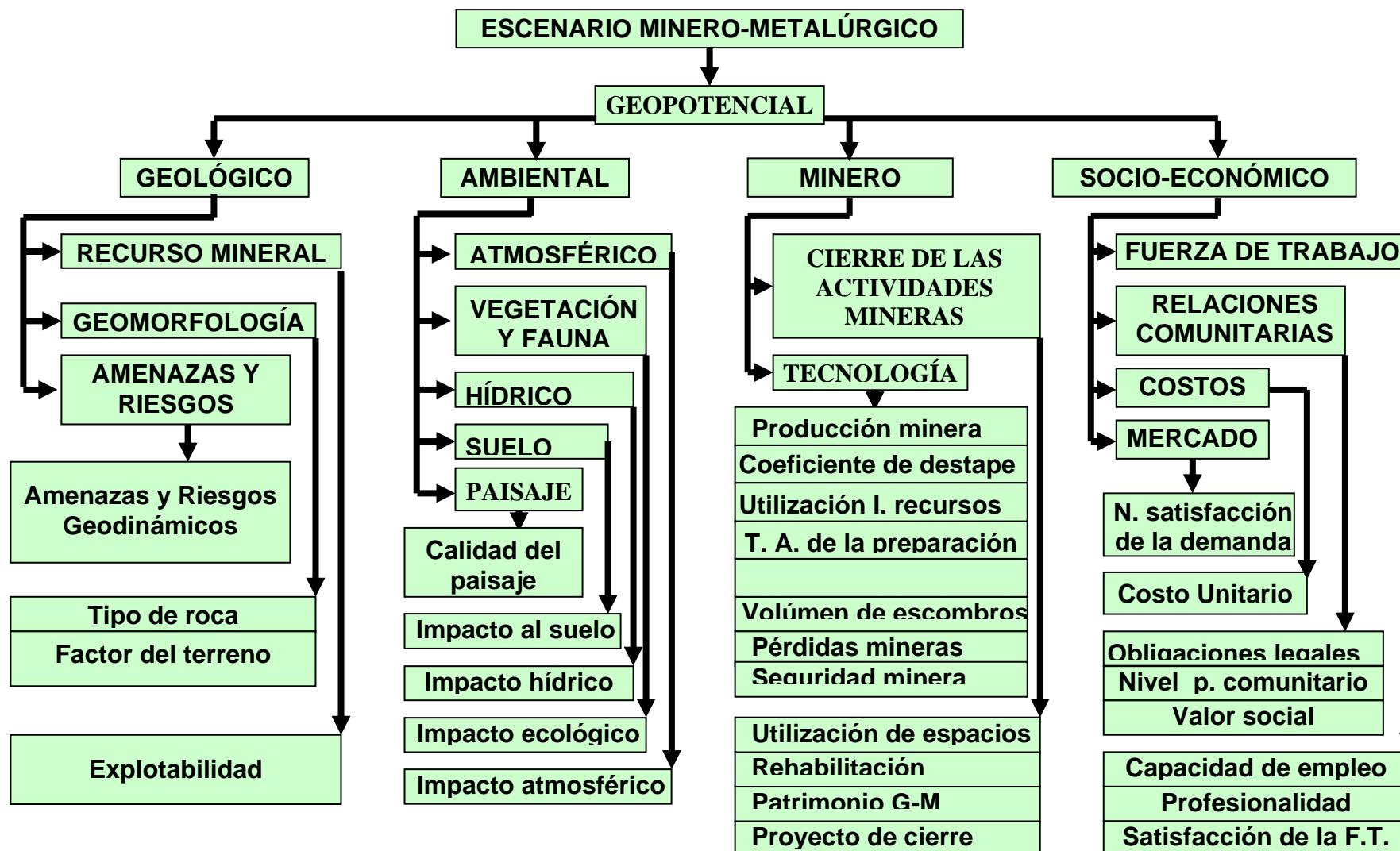


Figura 3. Propuesta de un Sistema de Indicadores de sostenibilidad, (SIS) para regiones mineras iberoamericanas.



## REVALIDACIÓN DEL AMBIENTE MORFOESTRUCTURAL DE LA REGION BAHIA DE CARDENAS - PENINSULA HICACOS MEDIANTE EL EMPLEO DE SIG.

**Idoris Alfonso Santiesteban, Víctor Estrada Sanabria, José Raúl Gabilondo Márquez, Gustavo Godines Barrera y Omar Hernández Valdés.**

*GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de la Habana, Cuba. Telef: 97 7575, Ext.114, 107 y 118, Fax: 97 0019. e-mail: [idoris@emarininos.geocuba.cu](mailto:idoris@emarininos.geocuba.cu), [viktor@emarininos.geocuba.cu](mailto:viktor@emarininos.geocuba.cu), [gem@emarininos.geocuba.cu](mailto:gem@emarininos.geocuba.cu)*

### RESUMEN

En los últimos lustros, la región marino litoral de Península de Hicacos- Bahía de Cárdenas ha sido objeto de importantes volúmenes de investigaciones asociadas a las ciencias de la Tierra, para sustentar las inversiones en las esferas del turismo y la prospección de estructuras favorables para petróleo. El presente trabajo tiene como objetivo integrar toda la información disponible en formato SIG que permita el manejo de la geo- información para la revalidación del ambiente morfoestructural del horizonte Neógeno- Cuaternario del terreno Península de Hicacos - Bahía de Cárdenas. De igual forma pretende contribuir de un modo indirecto a la gestión del conocimiento en la toma de decisiones de expertos y especialistas en las esferas socioeconómicas y ambientales.

La base de esta geo- información la conforman un conjunto de materiales temáticos y gráficos de los proyectos de investigación ejecutados en la región, en diferentes fechas, escalas y objetivos de trabajos; entre los que se encuentran los diferentes datos geólogo- geofísicos marinos, hidrográficos, estructurales y otros publicados.

### ABSTRACT

In the last years, the marine littoral region of Península de Hicacos- Bahía de Cárdenas have been the subject of several investigations related with geosciences, to support investments in tourism and prospecting of suitable structures for oil. The present paper has as an object to integrate all the available information in GIS format in order to manage the geoinformation for the revalidation of the morpho-structural environment of Neogen-Quaternary horizon of the relieve of Hicacos Peninsula - Cárdenas Bay. In the same way, this work pretend to contribute in an indirect way to the knowledge grade and decision taking between specialists and experts in environmental and socio-economic fields.

The base of this geo-information is composed by many graphic and thematic maps from different projects of investigation carried out in the area at different dates, scales, and objectives such as: the marine geophysics, geologic and hydrographic data, structural schemes and others publications.

### INTRODUCCIÓN

El nivel actual del conocimiento geólogo- geofísico de la plataforma marina insular y las zonas costeras de la República de Cuba continúa revelando como detalle, la desigualdad asimétrica en su grado de estudio, algo que pudo observarse en las campañas regionales ejecutadas en la década de los años 80. Sin embargo, hoy el pulso de los factores jurídico – ambientales, informáticos, tecnológicos, económicos del mercado y los normalizativos de la calidad, exigen la gestión de las investigaciones geólogo – geofísicas con el empleo de sistemas informáticos mas competentes que permitan acometer los trabajos con una eficiencia demostrada. La creación de





valores de usos al potenciar la transformación de los datos archivados en nuevos conocimientos para la ejecución de programas de investigaciones multidisciplinarios con ahorro de recursos financieros y logísticos, lograr una mejor gestión en la recuperación y análisis informático para la Base de Datos (Estrada y otros, 2004) de modo integral o personalizado, según los parámetros o condicionantes del objeto de obra y su localización de prefactibilidad para el marco geológico del territorio investigado así como potenciar la gestión del conocimiento en las tareas de actualización y edición del Mapa Geológico de los sedimentos cuaternarios de la plataforma Insular marina, constituyen importantes objetivos y beneficios a lograr con la integración de la geoinformación disponible.

La región marino litoral de Península de Hicacos- Bahía de Cárdenas ha sido objeto de importantes volúmenes de investigaciones asociadas a las ciencias de la Tierra, con el objetivo de sustentar tanto las inversiones en las esferas del turismo como la prospección de estructuras favorables para petróleo. La Península de Hicacos por su parte ha sido objeto de estudio con vistas a la recuperación de la playa de Varadero para su explotación turística mientras que la Bahía de Cárdenas por otra parte para la prospección petrolera. El presente trabajo tiene como objetivo presentar de una forma sencilla y con algunos ejemplos concretos, las posibilidades y potencialidades de la integración de toda la información disponible de la región Bahía de Cárdenas- Península de Hicacos en formato SIG.



**Figura 1 Vista 3 Dimensional de la región Bahía de Cárdenas-Península de Hicacos obtenida a partir del mapa batimétrico con superposición de imagen de satélites Landsat TM 1983.**

Este trabajo forma parte del proyecto de creación de la base de datos geólogo-geofísica en Sistemas de Información Geográfica que viene desarrollando la Agencia de Geología y



geofísica del grupo GEOCUBA. La integración de toda la información disponible hasta la actualidad y las posibles en etapas futuras, permite un mejor manejo de la geo- información para la revalidación del ambiente morfoestructural del horizonte Neógeno- Cuaternario del terreno Península de Hicacos - Bahía de Cárdenas, y al mismo tiempo pretende contribuir de un modo indirecto a la gestión del conocimiento en la toma de decisiones de expertos y especialistas en las esferas socioeconómicas y ambientales.

## MATERIALES Y METODOS

La base de esta geo- información la conforman un conjunto de materiales temáticos y gráficos de los proyectos de investigación ejecutados en la región, en diferentes fechas, escalas y objetivos de trabajos; entre los que se encuentran los diferentes datos geólogo- geofísicos marinos e hidrográficos ejecutados en aguas someras a finales de la década del 80' y principios de los 90' por nuestra agencia así como otros trabajos realizados en fechas anteriores tanto mapas de resultados geofísicos como mapas tectónico y estructurales, entre otros publicados.

Entre los materiales temáticos generalizados, confeccionados y utilizados que conforman esta base podemos citar los siguientes:

- Mapa de tipos de fondos Marinos. Escala 1: 5 000 (realizado por la Agencia Geología y Geofísica – GEOCUBA, 1990-92)
- Mapa batimétrico Escala 1: 5 000 (realizado por la Agencia Geología y Geofísica – GEOCUBA, 1990-92) y otros levantamientos batimétricos mas recientes.
- Mapa de los espesores de los sedimentos recientes no consolidados. Escala 1: 5 000 (realizado por la Agencia Geología y Geofísica – GEOCUBA, 1986 - 1992)
- Mapa de Isohipsas del subfondo marino. Escala 1: 5 000 (realizado por la Agencia Geología y Geofísica – GEOCUBA, 1986 y 1990-92)
- Mapa de distribución de los sedimentos superficiales. Escala 1: 5 000 (realizado por la Agencia Geología y Geofísica – GEOCUBA, 1986 -1992)
- Mapa magnético reinterpretado a partir del levantamiento hidromagnético ejecutado en 1989. Escala 1: 50 000 (realizado por la Agencia Geología y Geofísica – GEOCUBA, 1989)
- Mapa de resultados de Bahía de Cárdenas (realizado por la Agencia Geología y Geofísica – GEOCUBA, 1989)
- Mapa de anomalías gravimétricas a escala 1: 50 000 (confeccionado por K. Krisov del Instituto Cubano de Recursos Minerales en el año 1985).
- Esquema tectónico-estructural según los datos geofísicos. Escala 1: 25 000 (realizado por: B. M. Gveiman y R. Tenreyro en 1982).
- Esquema tectónico de la región de Varadero- Cárdenas. Escala 1: 50 000 (realizado por I. Izvaryn en 1969).
- Esquema estructural sísmico. Parte Noroccidental de la Bahía de Cárdenas. Escala 1: 10 000.
- Esquema de alineamientos. Escala 1: 25 000 (según M. Barea)
- Esquema de ubicación de las Minas de Asfalto de Bahía de Cárdenas
- Mapas topográficos. Escala 1: 25 000 y 1: 50 000
- Imágenes de satélites Landsat TM (1987, 1993) y ETM+ (2001)

Para nuestro caso hemos seleccionado el programa ILWIS desarrollado por el Instituto Internacional de Estudios Espaciales y Ciencias de la Tierra (I.T.C, Holanda), el cual es una



aplicación integrada de Sistema de información Geográfica con herramientas de procesamiento de imágenes y con gran fortaleza en el análisis de datos raster, lo cual nos resulta útil para la evaluación y selección de sitios en las investigaciones marinas y costeras

## RESULTADOS Y DISCUSION

Desde el punto de vista geológico la plataforma marina se puede definir como una gran unidad morfoestructural, que es continuidad directa del territorio insular emergido y se extiende, con una pendiente muy suave, hasta la línea geomorfológica de su transición al talud insular, situada convencionalmente en la profundidad de los 200 m, a una distancia muy próxima a las isobatas de 40 ó 50 m (Furrazola y Nuñez, 1997).

A partir del análisis de los diferentes mapas temáticos ha sido posible obtener nuevas geoinformaciones. El mapa de tipos de fondos marinos de la región Bahía de Cárdenas – Península de Hicacos (Fig. No. 2) es un ejemplo de ello. Diferentes tipos de fondos rocosos fueron determinados en los años 1990-92 para el área de la plataforma submarina de Hicacos. Con la integración de la información no solo ha sido posible reclasificar los diferentes tipos de fondos rocosos enmarcados dentro de la formación Jaimanitas sino también los sedimentos holocénicos que frecuentemente cubren el grupo Jaimanitas.

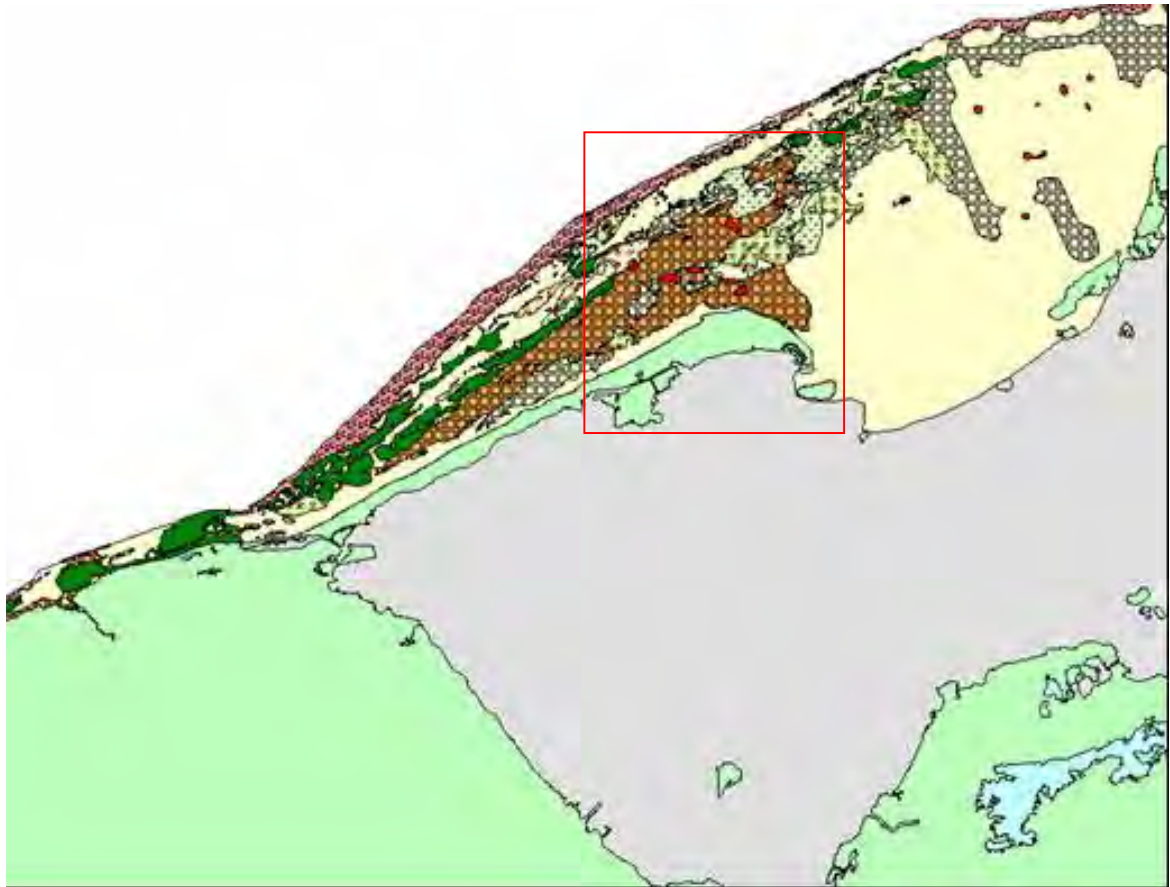
Con informaciones adicionales como son los espesores de los sedimentos, batimetría, datos de perforaciones y de clasificación de los sedimentos no consolidados, entre otros, es posible determinar áreas que cumplan con determinados requerimientos tanto de tipo ingeniero como ambiental, áreas que pueden ser seleccionadas como adecuadas para un determinado objetivo geológico. Ejemplo de ello son los diferentes mapas que pueden derivarse de la reclasificación de las arenas de la formación Varadero desde el punto de vista de su composición granulométrica, profundidad a la que yacen sobre el fondo marino, potencia y área que ocupa. La integración de los datos geólogo- geofísicos de los sedimentos recientes con informaciones de calas realizadas permite hacer una contribución a la geomorfología de la región así como al mapa geológico a escalas detalladas.

Con este trabajo de integración se pudo correlacionar los diferentes mapas geofísicos y tectónico- estructurales confeccionados en décadas pasadas, con los resultados obtenidos en nuestras investigaciones. A partir de la obtención del mapa de isohipsas del subfondo marino de toda la región (Fig. No. 3 y 4) es posible observar las diferentes formas del relieve del subfondo que pueden tener relación con estructuras más antiguas.

El área interior de la Bahía de Cárdenas, presenta diferentes elementos estructurales interesantes, con cierto grado de correlación con los resultados de sísmica profunda y gravimétricos realizados con anterioridad por otros autores. La coincidencia no es exacta lo cual es lógico debido a la complejidad geológica pero también a posibles errores en la determinación de la posición de los trabajos anteriores por las metodologías empleadas. De la misma manera, el comportamiento del paleorelieve del área, anterior a la sedimentación actual, permite hacer valoraciones estructurales sobre la geología de la región.





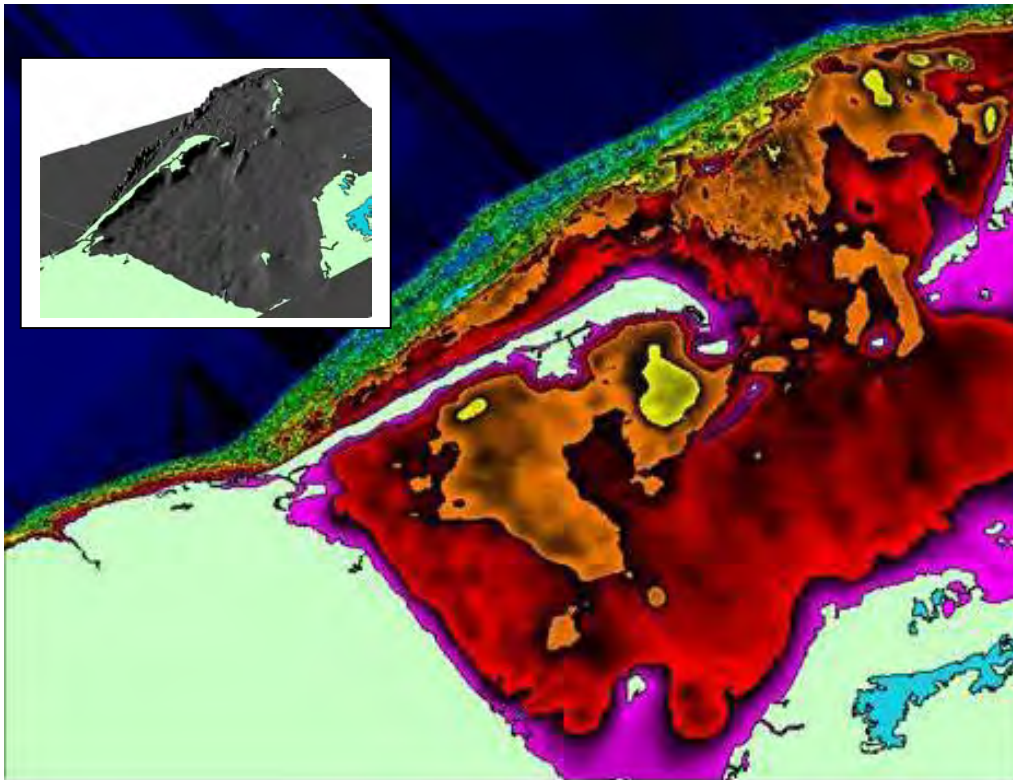


**Figura 2** Mapa de tipos de fondos marinos de la región Bahía de Cárdenas – Península de Hicacos confeccionado a partir de la reinterpretación e integración de diferentes informaciones.

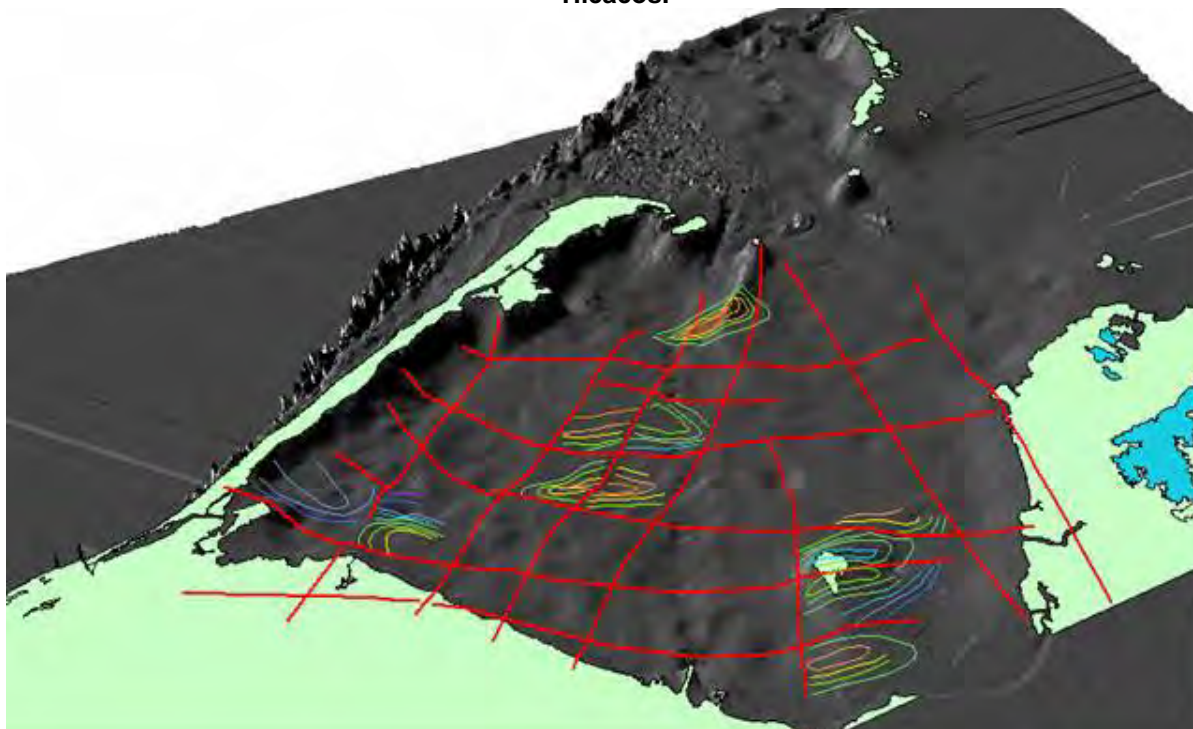
La presencia de áreas elevadas o deprimidas puede ser asociada a estructuras tectónicas tanto plegadas como de ruptura. Las áreas deprimidas al sur de Chapelin y de la Punta de Hicacos por ejemplo se presentan como las de contornos mejor definidos. La estructura conocida por Hicacos, se pone de manifiesto como una zona elevada entre el área anterior y la depresión de menor magnitud ubicada al sureste de Cayo Diana.

El área de la estructura Cupey que representa una zona de gran complejidad ya que se encuentra comprendida entre tres zonas elevadas, se caracteriza en su parte sur por un gradiente bien definido en las isohipsas.

En el caso de Bahía Cárdenas todos estos análisis de los mapas de isohipsas del subfondo marino, batimétrico e isopacas, permiten además reevaluar posibles ubicaciones de obras ingenieras para un futuro desarrollo y explotación de yacimientos gasopetrolíferos en la región tales como: viaductos, plataformas, oleoductos, etc.



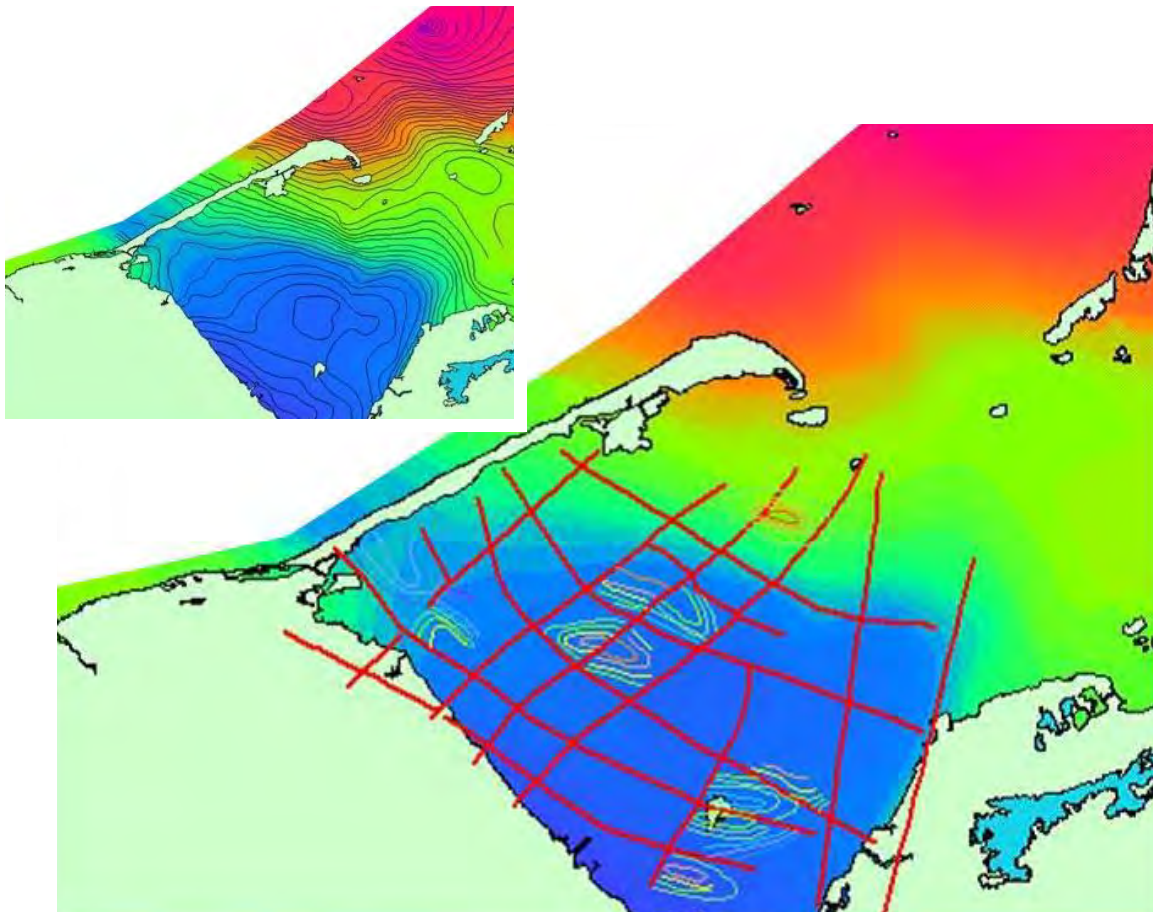
**Figura 3** Mapa de Isohipsas del subfondo marino de la región Bahía de Cárdenas-Península de Hicacos.



**Figura 4** Vista 3 D del mapa de isohipsas del subfondo marino con superposición del esquema tectónico-estructural según los datos geofísicos realizado por: B. M. Gveiman y R. Tenreiro en 1982 a Escala 1: 25 000. Los alineamientos de color rojo representan las fallas principales y las isobatas, representan las isohipsas para la frontera en el parautoctono.



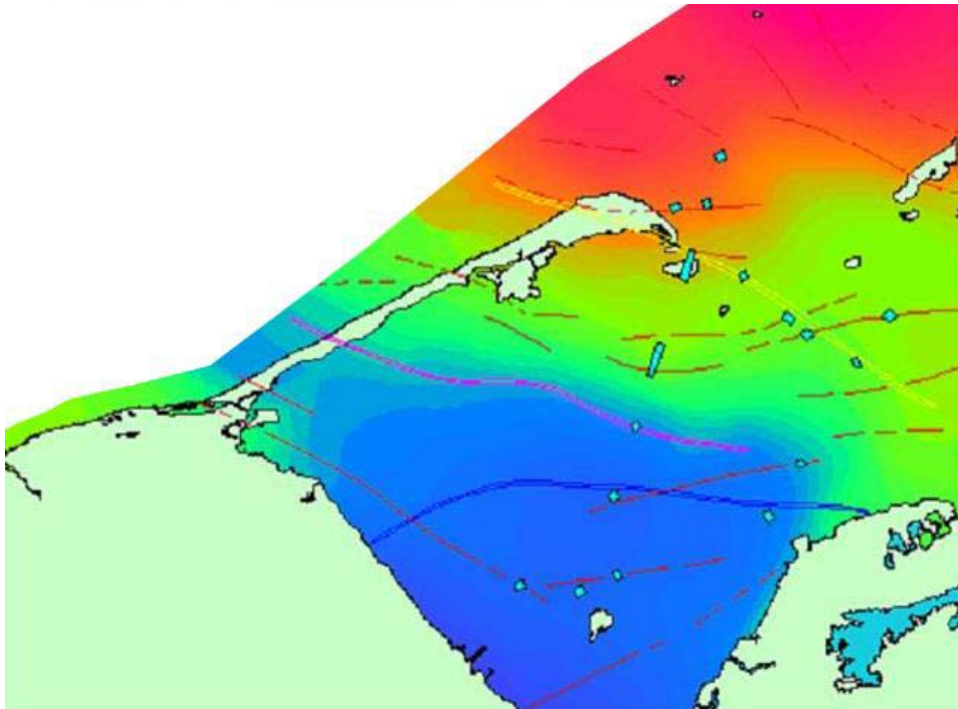
En las figuras 5 y 6 se muestran otros ejemplos de integración. En la figura 5 como mapa base se presenta el mapa de anomalías gravimétricas y sobre este, el esquema tectónico-estructural donde el sistema de fallas en dos direcciones fundamentales NW-SE aproximadamente reveladas por los distintos estudios sísmicos realizados en la zona se enmarcan dentro de un gran mínimo gravimétrico con valores de hasta -35 mgl. Los valores anómalos positivos se observan solo en la porción NNE de la zona.



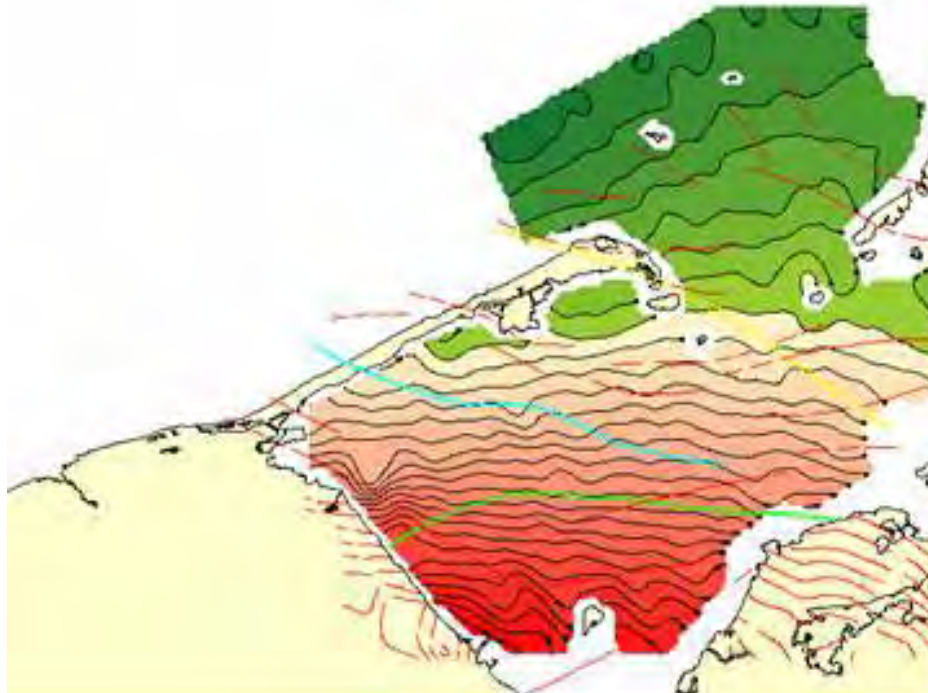
**Figura 5** Mapa de anomalías gravimétricas confeccionado por K. Krisov del Instituto Cubano de Recursos Minerales en el año 1985 a escala 1: 50 000; con superposición del esquema tectónico-estructural según los datos geofísicos realizado por: B. M. Gveiman y R. Tenreiro en 1982 a Escala 1: 25 000. Las alineamientos de color rojo representan las fallas principales y las isohipsas, las isohipsas para la frontera en el paraautoctono.

Los resultados del análisis de los mapas de distribución de sedimentos superficiales de los sedimentos no consolidados, no nos permite realizar una vinculación con la geología antigua, pero si es un reflejo de la hidrodinámica actual. En la Bahía de Cárdenas existe una variación gradual de la composición de los sedimentos desde el interior de la bahía hacia el exterior de cienosos a arenosos. Comparaciones de estos tipos de mapas de distribuciones de sedimentos superficiales en diferentes épocas, nos evidencian una migración de los sedimentos cienosos hacia el área exterior de la bahía de Cárdenas. Desde el punto de vista ambiental este fenómeno constituye un elemento importante a tener en cuenta.





**Figura 6** Esquema tectónico de la región de Varadero-Cárdenas (realizado por: I. Izvaryn, 1969).  
Escala 1: 50 000 superpuesto sobre los mapas magnético (superior) y gravimétrico (inferior)



**Figura** Esquema tectónico de la región de Varadero-Cárdenas (realizado por: I. Izvaryn, 1969).  
Escala 1: 50 000 superpuesto sobre el mapa de anomalías magnéticas

Los ejemplos presentados hasta aquí, solo constituyen una pequeña muestra de lo que es posible obtener con el análisis de la geoinformación.



## CONCLUSIONES

- El empleo de técnicas SIG para el análisis de toda la información disponible han permitido realizar una revalidación del ambiente morfoestructural de la región Bahía de Cárdenas – Península Hicacos a partir de reinterpretaciones de investigaciones realizadas, reclasificación de mapas temáticos y de la integración de diferentes fuentes de información.
- Los resultados que pueden generarse con este tipo de análisis son muy variados según las proyecciones de objetivos geológicos, de gestión del conocimiento, ingenieros geológicos y ambientales.

## BIBLIOGRAFIA

- Colectivo de autores. 1989. Mapa geológico de la Republica de Cuba.
- Estrada, V. y I. Santiesteban, 2004. Creación de la Base de Datos geólogo – geofísica de la plataforma marina y la zona costera. Archivo técnico. GEOCUBA Estudios Marinos.
- Furrazola, G. y Nuñez. K. 1997. Estudios sobre Geología de Cuba. 1ra edición 1997. La Habana: Centro Nacional de Información Geológica (CNDIG), Instituto de Geología y Paleontología. P 179-196
- Gveiman, M. y R. Tenreiro, 1982 Esquema tectónico-estructural según los datos geofísicos. Escala 1: 25 000
- Gabilondo, J., Artilles, J., Alfonso, I. 1998. Resultado de las investigaciones geofísicas para el descubrimiento de antiguas minas de asfalto en la Bahía de Cárdenas
- Hernandez, O. y otros. 1990. Sobre las investigaciones sismoacusticas, magneticas, batimetricas y de muestreo de sedimentos superficiales realizadas en la Bahía de Cardenas y sus accesos, 1989. Brigada de Geofísica- Destacamento de Estudios Hidrográficos, ICH. (inédito)**
- Perdomo. J. 1998. Resultados de las investigaciones geólogo – geofísica para el dragado de limpieza del canal de acceso al Puerto de Cárdenas. Bahía de Cárdenas. Archivo técnico. GEOCUBA Estudios Marinos.
- Perdomo. J. y G. Godínez, 2000. Investigaciones ingeniero geológica y geofísicas de proyecto ejecutivo para la remodelación y ampliación de Marina Gaviota. Punta Hicacos. Varadero. Archivo técnico. GEOCUBA Estudios Marinos.
- Santoro, J. y Alfonso, I. 1992. Resultados de los trabajos geofísicos marinos al norte de la Península de Hicacos y sus accesos para el estudio de la morfología submarina y la evaluación de las reservas de arena. Brigada de Geofísica- Destacamento de Estudios Hidrográficos, ICH. (inédito)**



## **Tectonics and Petroleum Systems of the Southern Gulf of Mexico (North Cuba)**

**Jean Letouzey<sup>(1)</sup>, F. Gaumet<sup>1</sup>, I Moretti<sup>1</sup>, J. R. Sanchez<sup>2</sup>, R. Tenreiro<sup>2</sup>**

(1) Institut Français du Pétrole, 92852 Rueil-Malmaison Cedex, France

(2) CUPET, Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana, Cuba

A recent seismic survey from Northern Cuba-South Eastern Gulf of Mexico, combined with geological and geochemical data from Cuba, reveals the structural evolution and the petroleum potential of this region since the Jurassic.

A rifting phase during the Lower-Middle Jurassic (up to the Callovian) was associated with the opening of the Gulf of Mexico and the Proto Caribbean. Carbonates and evaporites were then deposited throughout the northern margin of the proto Caribbean, while the synrift system continued in the Yucatan-Florida Strait up to the late Berriasian. Carbonates developed in this domain during the whole Cretaceous subsidence episode.

The Cuban fold and thrust belt and the adjacent foreland basin formed during the Maestrichtian-Early Tertiary, when the Great Caribbean Arc obliquely collided with the Florida paleo-margin. The climax of orogeny during the Middle Eocene created the present Cuba fold and thrust belt. Reactivation of former normal faults probably induced by the flexure is observed in the foreland domain.

The most likely level of detachment in the Cuban thrust sheets is the Callovian-Oxfordian salt and evaporitic unit, the oldest formation involved. After the main tectonic event, the convergence between the North American and the Caribbean plates shifted towards the Eastern Caribbean along the Caribbean Arc. However, some faults and structures as well as Mesozoic Carbonate banks were reactivated by compression during the Neogene.

The synrift and post rift petroleum systems and especially the reservoir facies distribution and potential traps are discussed in the light of this structural evolution.



## **YACIMIENTO DE AGUAS MINERALES SANTA MARÍA DEL ROSARIO. UNA FUENTE DE SALUD Y RIQUEZAS EN ESPERA DE SU REHABILITACIÓN**

**Mauricio Rodríguez Infante y Argelia Brito Díaz.**

***Empresa Geominera del Centro, Carretera de Malezas km 2.5, Santa Clara Villa Clara, Cuba, E-mail:  
[mauricio@egmc.vcl.cu](mailto:mauricio@egmc.vcl.cu)***

### **RESUMEN**

El yacimiento de Aguas Minerales de Santa María del Rosario se encuentra ubicado a 2 km de la ciudad del Cotorro, con la cual se comunica a través de una carretera de primera categoría en magnífico estado y a 11 km de la Ciudad de La Habana por la Autopista Nacional. Además de esta vía de comunicación el Cotorro es atravesado por la Carretera Central y por un ferrocarril que lo comunica con la Ciudad de La Habana y el resto de las ciudades del país.

Las aguas minerales del yacimiento son cloruradas bicarbonatadas - sódicas, silíceas, sulfurosas, con contenidos considerables de materia orgánica y con calidad demostrada para el tratamiento de diversas afecciones y surgen en la base Noreste de La Loma de la Cruz, a partir de la cual se extiende el poblado de Santa María del Rosario.

Las aguas están asociadas a una zona de debilidad tectónica de yacencia abrupta de dirección Noroeste - Sureste que buza hacia el Suroeste y que fue inequívocamente descubierta a la profundidad de 62 m por el pozo P-11, realizado por la Expedición Geológica Habana – Matanzas en investigaciones anteriores.

En su estructura geológica intervienen rocas de las formaciones Martín Mesa, Chirino y Vía Blanca.

En la actualidad este yacimiento se encuentra afectado por contaminación bacteriológica originada por la población circundante. La Empresa Geominera del Centro realiza estudios para su rehabilitación siguiendo un proyecto técnico económico que pretende rescatar el yacimiento a solicitud del Gobierno y la Dirección Provincial de Salud.

### **ABSTRACT**

The groundwater deposit Santa Maria del Rosario is located 2 km far from Cotorro town trough a first class highway, and 11 km from Havana City trough the National Turnpike

Besides, Cotorro is crossed by the Central Highway and by Central Railroad.

Waters of this deposit are classified as sodium-chloride-bicarbonate, with high silica and hydrogen sulphide and meaningful amounts of organic matter. They source at the northeastern slope of Loma de la Cruz hill, from which the village Santa María del Rosario spreads down.

Aquifer flow is linked with a shearing zone that extends NW-SE and dips sharply to SW. This zone was discovered in the drill hole P-11 at 62 m depth. The geological pattern is filled with sequences of "Martin Mesa", "Chirino" and "Vía Blanca" formations. At present this watershed is seriously polluted by the bacteriological impact of the village development over the source. At the request of the Havana province government and Public Health services, EGMC enterprise is doing now an integrated research to attain a complete water quality recovery.

### **INTRODUCCIÓN**

En el mes de Febrero del 2004, el gobierno del municipio del Cotorro, le solicitó a la Empresa Geominera del Centro que realizara las investigaciones pertinentes para la rehabilitación del Yacimiento de Aguas Minerales Santa María del Rosario, pues los resultados bacteriológicos



reportados desde finales de la década del 90 y el mal estado de las obras de captación existentes en el mismo imposibilitan su uso.

Este yacimiento es el único de su tipo en la provincia y es de gran interés para el gobierno y la dirección de salud pública de la provincia por su gran valor para el tratamiento y la cura de múltiples enfermedades.

La Empresa Geominera del Centro se puso en contacto con el Grupo Multidisciplinario que realiza el rescate del balneario y preparó un proyecto que debe resolver las siguientes tareas:

- ✓ Actualización de las condiciones higiénica – sanitarias de las Zonas de Protección del Yacimiento (tipo, grado y causas de la contaminación).
- ✓ Verificación y establecimiento de los recursos disponibles y de explotación.
- ✓ Verificar y establecer las condiciones técnico mineras y de explotación del acuífero (caudal y régimen de explotación).
- ✓ Verificar y establecer la calidad de las Aguas Minerales y su posible aprovechamiento.
- ✓ Verificar si las aguas son aptas o no para el uso balneológico actual o futuro.
- ✓ Definir las medidas a tomar para la eliminación de la contaminación, así como la inversión necesaria para erradicarla.
- ✓ Definir la correcta explotación del Yacimiento.

## **DATOS GENERALES SOBRE LA REGION**

El yacimiento de Aguas Minerales de Santa María del Rosario se encuentra ubicado en el poblado del mismo nombre, municipio del Cotorro, Ciudad Habana. Ver Anexo Gráfico No. 1.

Desde el punto de vista orográfico, la región forma parte de las alturas de Habana – Matanzas, caracterizándose el relieve por sus formas onduladas y ligeramente disecionadas, en su parte Central y Sureste son del orden de los 120.0 m, mientras que las mínimas se registran al Norte y oscilan entre los 30 y 40 m. Las cotas en el área del yacimiento varían desde los 71 m a 107 m SNMM, con algunas escarpes más o menos pronunciadas.

El promedio anual de precipitaciones de los últimos 10 años es de 1778 mm, con un incremento de las precipitaciones en los meses de junio a octubre; siendo el mes más seco el de febrero con un promedio de 66 mm y el de mayor volumen de precipitaciones junio con 287mm.

El municipio Cotorro es eminentemente industrial, destacándose las producciones de acero, lácteos, goma y otras producciones metalúrgicas y metal mecánica. En el plano agrícola produce diferentes variedades frutales y caña de azúcar.

## **ESTRUCTURA GEOLÓGICA Y CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DEL YACIMIENTO**

Los aspectos más destacables de la geología del yacimiento son (Anexo Gráfico No. 2):

- ✓ La existencia en la parte central del área de un bloque levantado de rocas de composición tobácea perteneciente a la Formación Chirino, en contacto tectónico con las rocas de la secuencia flihoide de la Formación Vía Blanca.
- ✓ Dos sistemas de dislocaciones tectónicas disyuntivas de dirección sublatitudinal uno y submeridional el segundo.



- ✓ El carácter semicerrado de la cuenca colectora que propicia que el movimiento de las aguas subterráneas y el escurrimiento superficial tienda a concentrarse hacia las inmediaciones del yacimiento.

Las unidades acuíferas que intervienen en la estructura del yacimiento son (Anexo Gráfico No. 2) :

- ✓ Complejo acuífero Cretácico.
- ✓ Horizonte acuífero del arco volcánico del cretácico.
- ✓ Zona acuífera filoniana.

### **Complejo acuífero Cretácico**

El Complejo Acuífero del Cretácico esta representado en el área de estudio por las rocas de las formaciones Martín Mesa, Vía Blanca y Chirino.

La Formación Martín Mesa ( $K_1^{al} - K_2^t$ ) está conformada por radiolaritas, areniscas vulcanomícticas a tobáceas y tobas de composición desde andesítica hasta basáltica cementadas por vidrio volcánico. Hacia la base del corte se presentan rocas de composición vulcanoclásticas, foliadas, de aspecto esquistoso a brechoide, en la que se envuelven bloques de calizas micrítica de marcada estratificación de color gris claro a negro que en ocasiones predominan. Hacia el Norte, en el poblado de Santa María se encuentran basaltos afíricos que por lo visto están relacionados con estas secuencias.

Las rocas de esta formación cuentan con una difusión muy limitada en el área de estudio y solo fueron localizadas formando un bloque tectónico en forma de cuña, al parecer levantado en la parte Suroeste del área .

En general toda la secuencia está fuertemente tectonizada y plegada con ángulos de buzamiento de  $40^\circ - 50^\circ$  al Suroeste con intensa cataclastización y brechamiento.

La Formación Vía Blanca ( $K_2^{cp-m}$ ) se encuentra ampliamente distribuida en el área, como regla general en las partes bajas del terreno, fundamentalmente en los Valles.

De modo general, el corte se compone de una secuencia, donde la facie fundamental está representada por intercalaciones de conglomerados con olistolitos de rocas volcánicas de 7-10 m (bioclásticas), restos de corales, rudistas, pequeños guijarros de silicita, areniscas y aleurolitas grauvacas, se observa una secuencia de sedimentos de agua profunda, compuestas por argilitas limosas laminares, areniscas grauvacas y paquetes de calcilitas que se alternan rítmicamente.

En el área de estudio, la Formación Vía Blanca yace en contacto probablemente tectónico sobre los sedimentos pelágicos, representados por calizas, rocas tufogénicas y radiolaritas, de las así denominadas Formaciones Martín Mesa (Cretácico Inferior Aptiano-Cretácico Superior Cenomanino).

La Formación Chirino ( $K_1^{al} - K_2^{cn}$ ) en el área de los trabajos está representada por una secuencia de rocas vulcanoclásticas en cuya constitución participan desde conglomerados, areniscas y argilitas tobáceas hasta tobas fuertemente cloritizadas de composición andesito basálticas con diferente grado de agrietamiento, con piritización diseminada y presencia de asfaltita en las grietas, basaltos subvolcánicos de estructura porfírica, tufitas compuestas de una masa vítrea aleurolítica y en menor medida lavas de composición dacítica.





Las rocas en el corte aparecen fuertemente tectonizadas, sin que se haya podido determinar sus elementos de yacencia. No obstante, en ocasiones se localizan bloques de tobas y argilitas tobáceas de aspecto monolítico, agrietadas, duras y compactas, en particular, en la Loma de La Cruz, con las que se encuentra vinculado el Balneario.

Las rocas de esta formación yacen en forma de bloque (ventana) tectónica en la región del Balneario. Por ello todos sus contactos son tectónicos.

Las aguas de este Complejo cubren toda el área estudiada y sus niveles se localizan entre los 2.75 m y los 9.0 m; predominan las aguas bicarbonatadas cloruradas sódica-cálcicas y cálcico-sódicas, aunque en raras ocasiones son sulfatadas o magnesianas. La mineralización varía entre 0.6 g/l y 1.7 g/l y los contenidos de ácido silícico desde 27 mg/l hasta 129 mg/l, predominando los valores mayores que 48 mg/l, lo cual les confiere la categoría de aguas minerales silíceas.

### **Horizonte acuífero del arco volcánico del cretácico.**

Esta unidad hidrogeológica se localiza dentro del complejo anteriormente descrito y se encuentra relacionado con las rocas del Arco Volcánico del Cretácico, con una amplia representación en el área; aparece en forma de bloque tectónico elevado en la parte centro sur del área, donde precisamente en su zona de contacto, se produce el alumbramiento de las aguas minerales sulfurosas silíceas, del yacimiento. Sus rocas son identificadas con las correspondientes a las de la Formación Chirino. Las rocas de este horizonte fueron cortadas por los pozos P-11, P-12, P-13 y PE-1.

### **Zona acuífera filoniana**

La zona acuífera filoniana relacionada con la zona de agrietamiento del pendiente de la zona de dislocación tectónica, constituye el propio yacimiento y fue estudiada durante la Prospección y la Exploración por los pozos P-11, P-12, PE-1, P-13, el manantial La Mina y el pozo surgente PS, estos dos últimos existentes con anterioridad.

La extensión estudiada de la zona acuífera es de 182 m, su potencia de 26.0 m (Pozo P-11) y su ancho de 40.0 m; con una presión de 62.0 m.

La alimentación de esta zona se produce en los lugares en que las rocas vinculadas con la dislocación tectónica afloran a la superficie, además esta zona recibe una parte importante de su alimentación por infiltración de las unidades hidrogeológicas con los cuales está relacionada y muy especialmente del Complejo del Cretácico.

La descarga ha sido establecida solo en forma de manantial en el caso de La Mina, vinculada presumiblemente con una zona cortante de dislocación.

La composición química de las aguas del yacimiento es clorurada bicarbonatada - sódica, con contenidos de ácido silícico superiores a 50 mg/l y de H<sub>2</sub>S ( hasta 24.2 mg/l). Su mineralización fluctúa entre 1.3 y 1.5 g/l y presenta contenidos de materia orgánica altos(486-537 mg/l), así como de Al (0.15 mg/l) y Fe (<0.041 mg/l).

La acuosidad de la zona fue estudiada mediante la ejecución de 3 bombeos de pruebas y 2 bombeos experimentales en los pozos P-11 y P-12 y se caracteriza por coeficientes de



transmisibilidad que varían entre 2.6-3.2 m<sup>2</sup>/día (Pozo P-11) y 6.3-23.0 m<sup>2</sup>/día (Pozo P-12), en dependencia de las condiciones adoptadas para el cálculo.

Las aguas de esta zona presentan un determinado grado de confinamiento, pues se encuentran limitadas en todos los sentidos por variedades litológicas menos permeables y además, por el carácter surgente de los pozos P-11, P-13, PS y por la presencia del manantial ascendente La Mina.

## **TRABAJOS A REALIZAR:**

### **a) Liquidación de pozos perforados en trabajos anteriores:**

Se proyecta liquidar todos los pozos perforados en trabajos anteriores que de una forma u otra se encuentran relacionados con el yacimiento, pues constituyen conductores para los contaminantes de las aguas minerales. En total se planifican liquidar 5 pozos. La liquidación se realizará desde el fondo del pozo y hasta la superficie, utilizando cemento y/o arcilla plástica y una perforadora, siguiendo los procedimientos establecidos para estos casos.

### **b) Liquidación de manantiales existentes en los alrededores del balneario:**

Se proyecta liquidar el manantial Mn-2 (PS) ubicado a la derecha a la entrada del balneario y cualquier otro manantial que puedan convertirse en conductor de contaminantes hacia las aguas minerales durante la explotación de las mismas. En estos casos se planifica realizar la limpieza del colector del manantial, dar mayor profundidad al mismo si es necesario (0.5- 1.0 m), rellenar con fragmentos de rocas o gravas de la zona, colocar tubería que facilite el drenaje de las aguas con un filtro incluido y sellar el colector con cemento y/o arcilla plástica. En total se planifican liquidar 2 manantiales.

### **c) Redefinir la Zona de Protección Sanitaria II y tomar las medidas necesarias para:**

- ✓ Congelar la construcción de todo tipo de obra nueva en esta zona.
- ✓ Realizar un levantamiento de todas las viviendas existentes dentro de la zona.
- ✓ Preparar un programa para el reordenamiento de las viviendas ubicadas en los sectores de gran riesgo.
- ✓ Iniciar proceso legal para que las tierras ubicadas dentro de los sectores de gran riesgo pasen a propiedad del Balneario(Concesión Minera).
- ✓ Eliminar todas las fosas existentes.
- ✓ Construir alcantarillado para la evacuación de los residuales líquidos.
- ✓ Eliminar los vertimientos de residuales líquidos y sólidos que se realizan al arroyo que cruza frente al Balneario.
- ✓ Montar Planta(s) de tratamiento de residuales líquidos.
- ✓ Establecer un cuerpo de inspectores que garanticen el no vertimiento de residuales.
- ✓ Eliminar toda crianza de animales.
- ✓ Retirar el alcantarillado de la calle 30 y solo usarlo provisionalmente para la evacuación de los residuales del balneario.
- ✓ Reparar todos los drenajes de residuales líquidos del balneario evitando el escape al medio.
- ✓ Iniciar programa para el desarrollo futuro del Balneario en áreas próximas al Yacimiento.
- ✓ Mantener protegido y limpio el manantial La Mina.



- ✓ Eliminar todos los puntos de vertimientos de residuales sólidos existentes.
- ✓ Preparar programa para elevar la cultura de los habitantes sobre la protección del medioambiente y en especial del yacimiento.

Los trabajos anteriormente relacionados serán organizados y chequeados por el Grupo Multidisciplinario que trabaja en el rescate del yacimiento. Estos trabajos constituyen programas o partes de programas con presupuestos independientes, no incluidos en este proyecto; solo se incluye el presupuesto necesario para los trabajos de coordinación que deben realizar los especialistas de la EGMC.

En el informe final del proyecto se deben incluir copias de los diferentes programas ejecutados o en vías de ejecución, copias de las resoluciones y de los acuerdos de interés, así como los resultados alcanzados hasta el momento y las perspectivas.

#### **d) Perforación de Pozos de Verificación.**

Se planifica la perforación de 5 pozos con el objetivo de verificar si las aguas minerales del yacimiento pudieran ser afectadas de forma directa por las obras ingenieras que se construyen en la zona o por otras industrias ya existentes. Los pozos se planifican con una profundidad promedio de 60.00 metros, pudiendo oscilar entre los 20.00 y 100.00 metros. En total se planifican 300.00 metros de perforación con un diámetro inicial de 146 mm y un diámetro final de 89 mm. Se exige una recuperación de un 85 % y no requieren de encamisado, pues se liquidaran una vez concluida la perforación si cortan la estructura controladora de las aguas minerales.

#### **e) Liquidación de los Pozos de Verificación.**

Se liquidaran los pozos que corten la estructura controladora de las aguas minerales, siguiendo los procedimientos para estos fines. Para la proyección se planifican liquidar el total de pozos de verificación perforados.

#### **f) Perforación de Pozos de Exploración - Explotación**

Se prevé la perforación de 3 pozos con la finalidad de verificar y establecer los recursos disponibles y de explotación; definir las condiciones técnico mineras y de explotación del acuífero (caudal y régimen de explotación); establecer la calidad de las aguas minerales y su posible aprovechamiento; verificar si las aguas son aptas o no para el uso balneológico actual o futuro; definir las medidas a tomar para eliminar la contaminación así como la inversión necesaria para erradicarla y definir la correcta explotación del yacimiento. Los pozos tendrán una profundidad de 100.00 metros, con un diámetro inicial de 10 a 14" y un diámetro final de 4 a 6", se encamisarán inicialmente hasta los 60.00 metros, como promedio, con camisas de plásticas de 10 a 14"; es preciso garantizar una correcta cementación en este intervalo. Los pozos con buenas características para el abasto al balneario se acondicionarán posteriormente con camisas especiales (acero inoxidable, bronce u otro material que garantice el buen funcionamiento del pozo de abasto) y si es necesario se colocaran filtros en los intervalos productivos. La ubicación de los Pozos cera en los puntos donde se perforaron los pozos P-11, P-12 y un punto intermedio. Ver Anexo Gráfico No. 2

#### **g) Perforación de Pozos Satélites.**



Se planifica la perforación de 3 pozos (uno al lado de cada pozo de explotación), con una profundidad promedio de 50.0 metros y con el objetivo de verificar la interrelación hidráulica entre el acuífero superior (contaminado) y las aguas del yacimiento, durante la ejecución de las pruebas hidrodinámicas y la posterior explotación de las aguas minerales. Estos pozos se perforaran en un radio igual o menor a 4.0 metros del pozo de explotación y tendrán un diámetro que puede oscilar entre los 89 y 146 milímetros, encamisándose con tuberías plásticas ciegas hasta la profundidad de 7.0 metros y hasta el fondo con camisas plásticas ranuradas. En total se planifican como promedio de 150.00 metros de perforación con este objetivo.

#### **h) Observaciones durante la Perforación.**

Durante la perforación se observaran los cambios del nivel freático, las características del agua, del testigo de perforación, se precisara si existen fugas del liquido de perforación, caídas del instrumento de perforación y cualquier otro detalle que resulte de interés para la investigación. En total se planifican realizar 750.00 metros de observaciones.

#### **i) Documentación del Testigo de Perforación.**

Se documentara desde el punto de vista geológico e hidrogeológico toda la longitud del testigo perforado con el objetivo de continuar precisando las características del yacimiento. En total se planifican documentar 750.00 metros.

#### **j) Observaciones del Régimen de las Aguas Subterráneas.**

Se proyectan realizar mensualmente observaciones del régimen de las aguas subterráneas con el objetivo de precisar las variaciones de su composición química, su pureza bacteriológica y las variaciones del nivel freático del caudal y de la temperatura durante un ciclo hidrogeológico, en una red de 7 puntos hidrogeológicos (6 pozos y 1 manantial), en resumen se planifican realizar 72 mediciones nivel freático ( 6 pozos), 84 mediciones de la temperatura (7 puntos), 12 mediciones del gasto (1 punto), 84 tomas de muestras (7 puntos) para análisis químico completo y de metales.

#### **k) Bombeo de limpieza y descolmatación de los pozos perforados.**

Se prevé realizar la limpieza y la descolmatación de cada uno de los pozos de exploración-explotación y de los pozos satélites al concluir la perforación, con el objetivo de lograr la mejor afluencia de agua posible a los mismos, eliminar los sedimentos que puedan estar depositados en ellos y conocer de forma preliminar los parámetros hidrodinámicos del acuífero cortado. En total se planifican realizar seis limpiezas y descolmatación de pozos con el método Air Lift, con una duración de 3 brigadas / turno en cada caso, utilizando para ello la maquina perforadora.

#### **l) Bombeo Experimental.**

Se proyecta realizar un bombeo experimental de 90 brigadas / turno en cada uno de los pozos de exploración – explotación con el objetivo de precisar el caudal optimo y la calidad del agua. Para estos trabajos se cuenta con una Bomba sumergible. El experimento se realizara teniendo en cuenta los caudales establecidos en el Suplemento al Proyecto Prospección Detallada y Exploración Orientativa de Aguas Minero – Medicinales en la Región de Santa María del Rosario. Municipio del Cotorro. 1992. Ing. Antonio Valdés et. al, aunque debemos señalar que puede ser variado en dependencia de los resultados del laboratorio.



Se medirán los niveles de las aguas en los otros pozos de exploración- explotación y en el manantial La Mina para observar la influencia del bombeo. Posteriormente se medirá el restablecimiento de los niveles de las aguas subterráneas en cada uno de los pozos afectados. Durante estos trabajos se proyectan tomar 33 muestras de aguas para análisis químico completo, químico de metales, sulfhídrico y bacteriológico. Las muestra de agua se tomaran cada 8 días, preferiblemente los lunes para facilitar los análisis de laboratorio excepto en la ultima semana donde las muestras se tomaran diariamente.

#### **m) Bombeo de exploración - explotación.**

Se proyecta realizar un bombeo experimental de 1095 brigadas / turno en el pozo de mejores condiciones técnicas, con el objetivo de precisar el régimen de explotación y la calidad del agua. Este trabajo se realizara teniendo en cuenta los bombeos experimentales realizados y la proyección para el desarrollo del futuro balneario. Para estos trabajos se cuenta con una bomba sumergible.

Se medirán las afectaciones a los niveles de las aguas subterráneas en los otros pozos de exploración- explotación y en el manantial La Mina para observar la influencia del bombeo, también se observara el restablecimiento de los niveles y del caudal al paralizar el bombeo. Durante estos trabajos se proyectan tomar 24 muestras de aguas para análisis químico completo, químico de metales, sulfhídrico y bacteriológico. Las muestras de agua se tomaran en el pozo bombeado con frecuencia quincenal.

#### **n) Amarre de puntos de interés.**

Se prevé el amarre topográfico de los tres pozos perforados y de cualquier otro punto de interés para el estudio. Se estima que sea necesario amarrar 8 puntos.

#### **o) Trabajos de Laboratorio.**

- ✓ Análisis Químico Completo: Se realizaran determinaciones de  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CL}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SiO}_2$ , PH, Conductividad, Residuo Seco y Mineralización en los laboratorios de J. I del Corral y de la EGMC.
- ✓ Análisis Metales: Se realizaran determinaciones de cu, pb, zn, fe, mn, ni, co y cd. Estos análisis se realizarán en los laboratorios de J. I del Corral y de la EGMC.
- ✓ Análisis de Sulfhídrico: Se realizara en los laboratorios de J. I del Corral y de la EGMC.
- ✓ Análisis de Materia Orgánica: Se realizaran en el Laboratorio de Oceanología y en el CIQ.
- ✓ Análisis Bacteriológicos: Se determinara la presencia de colis totales, colis fecales, pseudomonas, conteo m. o aeróbios y estreptococos fecales en los puntos de la red del régimen y los pozos bombeados. Estos análisis se realizarán en el Centro Territorial de Higiene del Cotorro y en el Centro Nacional de Higiene y Epidemiología.

Estas determinaciones se realizaran con el objetivo de definir la estabilidad química y la pureza bacteriológica de las aguas minerales y determinar sus posibles usos.

#### **p) Preparación y entrega del Informe Final.**

El informe final de los trabajos en esta etapa incluirá:



- ✓ Breve explicación sobre los trabajos realizados y en los casos que sea necesario su certificación.
- ✓ Calidad bacteriológica de las aguas.
- ✓ Composición química y su estabilidad durante los ciclos hidrogeológicos.
- ✓ Establecimiento de las Zonas de Protección Sanitarias.
- ✓ Actualización de las Condiciones higiénico – sanitarias dentro de las zonas de protección del yacimiento (tipo, grado y causas de la contaminación).
- ✓ Verificación y establecimiento de los recursos disponibles y de explotación.
- ✓ Verificación y establecimiento las condiciones técnico mineras y de explotación del acuífero (caudal y régimen de explotación).
- ✓ Calidad de las aguas minerales y su posible aprovechamiento o no para el uso balneológico actual o futuro.
- ✓ Medidas a tomar para la eliminación de la contaminación si aun persiste, así como la inversión necesaria para erradicarla (plan de acción).
- ✓ Manual de explotación del yacimiento.
- ✓ Los anexos textuales y gráficos necesarios para una mejor comprensión de los resultados.

Toda la información se entregará en formato duro y digital sobre un Sistema de Información Geográfica.

#### **q) Preparación Solicitud de la Concesión de Explotación.**

Si los resultados de los trabajos son positivos como esperamos, se preparará el expediente para la solicitud de la concesión minera para la explotación de este recurso y se realizarán los trámites necesarios para su aprobación.

#### **r) Demarcación Topográfica de la Concesión.**

Una vez aprobada la Concesión de Explotación por los organismos pertinentes se procederá a realizar su demarcación topográfica.

### **BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Informe Prospección Detallada y Exploración Orientativa de Aguas Minero – Medicinales en la Región de Santa María del Rosario. Municipio del Cotorro. 1991. Ing. Pedro Vega Masabó et. al.
- 2.- Informe Suplemento al Proyecto Prospección Detallada y Exploración Orientativa de Aguas Minero – Medicinales en la Región de Santa María del Rosario. Municipio del Cotorro. 1992. Ing. Antonio Valdés et. al.
- 3.- Informe sobre el Programa de Trabajo para la Rehabilitación del Yacimiento de Aguas Minerales Santa María del Rosario Etapa I. 2004. Ing. Mauricio Rodríguez Infante et. al.





**TABLA RESUMEN DE LOS COSTOS EN MN.**

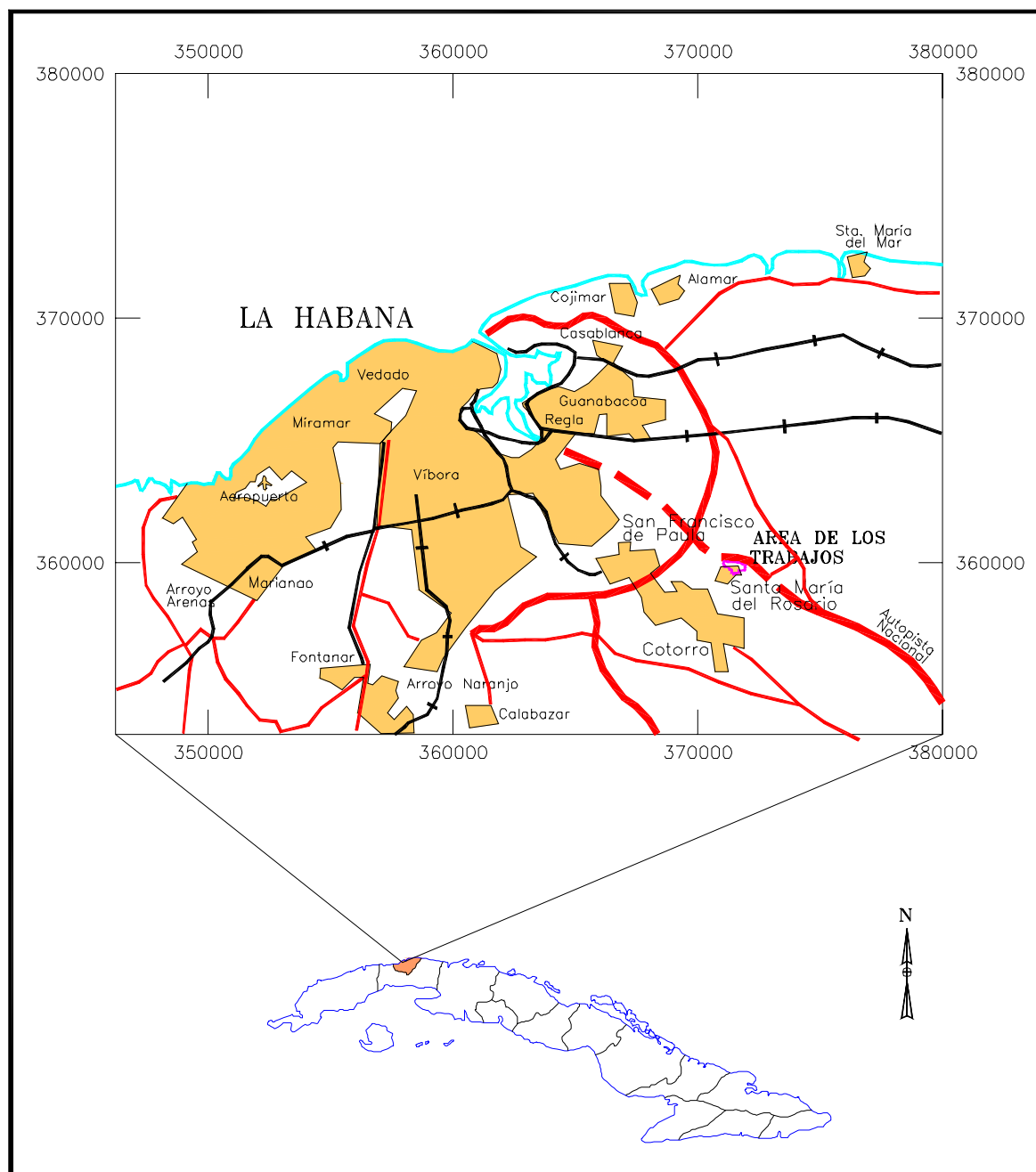
CODIGO	ACTIVIDAD/METODO	Volumen( cantidad)				
		U.F	en U.F	com-días	Precio	IMPORTE
	<b>Trabajos Geológicos</b>					<b>21947.00</b>
	Redefinir Zona Prot. Sanitaria II y dictar medidas para rescatar el yacimiento.	Esp/hora	160	160.00	16.00	2560.00
	Observaciones durante la Perforación	Met/obs.	750	18.75	114.32	2143.50
1390102	Documentación testigo de Perforación.	Metros	750	18.75	114.32	2143.50
	Liq. manantiales alrededores balneario	U	2	2.00	850.00	1700.00
	Preparación y entrega del Informe Final.	U	1	350.00	29.00	10150.00
1990000	Solicitud de la Concesión de	U	1	1.00	3250.00	3250.00
	<b>Observaciones Régimen Aguas Subt.</b>					<b>1815.63</b>
1490101	Mediciones nivel freático en 6 pozos.	Medic.	72	2.38	64.82	154.27
1500201	Mediciones de la temperatura en 7 puntos	Medic.	84	6.97	64.90	452.35
1510101	Mediciones del gasto en 1 punto.	Medic.	12	0.84	103.56	86.99
1520101	Toma de muestras en 7 puntos	U	84	9.24	121.43	1122.01
	<b>Trabajos Experimentales</b>					<b>143060.07</b>
1550101	Bombeo limpieza y descolmatación pozos perforados (3 brig/ turno con air	U	3	9.00	425.00	3825.00
1550401	Bombeo Experimental (90 brig/ turno con bomba sumergible).	U	3	270.00	150.38	40602.60
1520101	Toma de muestras de agua.	U	33	3.63	121.43	440.79
1550601	Bombeo de exploración – explotación 1095 brig/ turno con bomba sumergible).	U	1	1095.00	89.38	97871.10
1520101	Toma de muestras de agua.	U	24	2.64	121.43	320.58
	<b>Trabajos de Perforación</b>					<b>60389.55</b>
	Liquidación pozos trabajos anteriores	U	5	5.00	850.00	4250.00
1120301	Perforación de Pozos de Verificación	Metros	300	45.50	243.94	11099.27
	Liquidación de los Pozos de	U	5	5	850.00	4250.00
1130102	Perf. Pozos Exploración - Explotación	Pozo/m	3/300	55.50	491.02	27251.61
1120101	Perforación de Pozos Satélites.	m	3/150	55.50	243.94	13538.67
	<b>Trabajos de Topografía.</b>					<b>7934.80</b>
199000	Demarcación Topográfica Concesión.	U	1	1.00	7325.00	7325.00
1120102	Amarre de puntos de interés	pto	8	3.02	201.92	609.80
	<b>Trabajos de Laboratorio.</b>					<b>29309.46</b>
	Anal.Químico Completo (14 determinac)	U	141	141.00	165.23	23297.43
	Análisis Metales(9 determinaciones)	U	141	141.00	8.77	1236.57
	Análisis de Sulfhídrico	U	57	57.00	16.81	958.17
3011204	Análisis de Materia Orgánica	U	57	57.00	38.47	2192.79
3030303	Análisis Bacteriológicos	U	57	57.00	28.50	1624.50
	<b>TOTAL</b>					<b>264456.50</b>

Nota: La perforación de los pozos de Explotación deben realizarse con CUBANEX, pues no existen recursos para realizarlo por la parte Cubana, esto incrementaría el presupuesto del proyecto en USD.

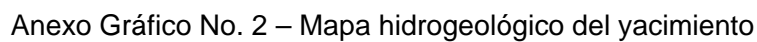


**TABLA RESUMEN DE LOS COSTOS EN CUC.**

CODIGO	ACTIVIDAD/METODO	Volumen( cantidad)				
		U.F	en U.F	com-días	Precio	IMPORTE
	<b>Trabajos Geológicos</b>					<b>2940.56</b>
	Redefinir Zona Prot. Sanitaria II y dictar medidas para rescatar el yacimiento.	Esp/hora	160	1.00	1632.35	1632.35
	Observaciones durante la Perforación	Met/obs.	750	1.00	208.09	208.09
1390102	Documentación testigo de Perforación.	Metros	750	1.00	208.09	208.09
	Liq. manantiales alrededores balneario	U	2	1.00	193.93	193.93
	Preparación y entrega del Informe Final.	U	1	1.00	462.31	462.31
1990000	Solicitud de la Concesión de	U	1	1.00	235.79	235.79
	<b>Observaciones Régimen Aguas Subt.</b>	Obs.	84	1.00	1286.94	<b>1286.94</b>
	<b>Trabajos Experimentales</b>					<b>20496.11</b>
1550101	Bombeo limpieza y descolmatación pozos perforados (3 brig/ turno con air	U	3	9.00	912.26	8210.34
1550401	Bombeo Experimental (90 brig/ turno con bomba sumergible).	U	3	3.00	2298.57	6895.71
1520101	Toma de muestras de agua.	U	33	33.00	6.68	220.44
1550601	Bombeo de exploración – explotación 1095 brig/ turno con bomba sumergible).	U	1	1.00	5009.3	5009.30
1520101	Toma de muestras de agua.	U	24	24.00	6.68	160.32
	<b>Trabajos de Perforación</b>					<b>19052.78</b>
	Liquidación pozos	U	10	1.00	951.67	951.67
1120301	Perforación de Pozos de Verificación	Metros	300	1.00	4005.34	4005.34
1130102	Perf. Pozos Exploración - Explotación	Pozo/m	3/300	1.00	9607.35	9607.35
1120101	Perforación de Pozos Satélites.	m	3/150	1.00	4488.42	4488.42
	<b>Trabajos de Topografía.</b>					<b>556.16</b>
199000	Demarcación Topográfica Concesión.	U	1	1.00	309.28	309.28
1120102	Amarre de puntos de interés	pto	8	1.00	246.88	246.88
	<b>Trabajos de Laboratorio.</b>					<b>5654.07</b>
	Anal.Químico Completo (14 determinac)	U	141	141.00	33.05	4660.05
	Análisis Metales(9 determinaciones)	U	141	141.00	1.75	246.75
	Análisis de Sulfhídrico	U	57	57.00	3.36	191.52
3011204	Análisis de Materia Orgánica	U	57	57.00	4.25	242.25
3030303	Análisis Bacteriológicos	U	57	57.00	5.50	313.50
	<b>TOTAL</b>					<b>49986.62</b>



Anexo Gráfico No. 1- Mapa de Ubicación





## VULNERABILIDAD INTRÍNSICA DEL TRAMO HS III, ARTEMISA–QUIVICAN, CUENCA SUR DE LA HABANA

**Ernesto Flores Valdés<sup>1</sup> y Manuel Núñez Laffita<sup>2</sup>**

1. Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, INRH, Virtudes # 267 esquina Belascoaín, 2. Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Habana, INRH, Ave Máximo Gómez, #2, esquina Echevarría.

### RESUMEN

El trabajo presenta como resultados principales la confección de un mapa de Vulnerabilidad Intrínseca del Tramo Artemisa – Quivicán, HS III, a partir de la elaboración y discusión de los criterios de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación hídrica, para la protección cuantitativa y cualitativa del agua subterránea, en dicha cuenca. Se exponen los principales argumentos relativos al desarrollo de los mapas de vulnerabilidad y su relación con el entorno medioambiental, del estudio del medio acuífero y sus recursos hídricos, evaluando factores naturales de la cuenca, tan diversos como: espesor, tipo y propiedades hídricas de las zonas saturada y no saturada; densidad del carso existente, drenaje superficial, propiedades intrínsecas del acuífero, principales usuarios que explotan estos recursos.

También se incluyen los principales objetivos a proteger y las fuentes contaminantes, permitiendo lograr un escenario lo más completo y objetivo posible con relación a la vulnerabilidad acuífera potencial, lo cual permite continuar en un futuro inmediato el estudio de vulnerabilidad específica de esta cuenca.

Los resultados obtenidos del Tramo Artemisa – Quivicán, HS-III, posibilita realizar en primer lugar una planificación de las regiones menos vulnerables a la contaminación del acuífero y las mas afectadas, así como contar con una herramienta para la realización de controles a entidades que por cualquier motivo pueden ser consideradas como puntos potenciales de contaminación. Se brinda la opción de poder realizar cambios en la características intrínsecas de la cuenca a medida que se posea nueva información que varíen la condiciones anteriores.

### ABSTRACT

The main objective of the contribution is the development of an Intrinsic Vulnerability Map of Tramo Artemisa – Quivicán, HS-II basin.

The principal arguments for developing vulnerability maps are exposed, as well as its relationships with the environment, on the basis of the study of the middle basin, its groundwaters resources and the evaluation of natural or intrinsic factors so as thickness, type and hydric properties of the saturated and no saturated zones, the morphology of karst, the hydrogeological properties and the characteristics of the exploitation, among other, which carry well defined impacts on basin vulnerability. Because some features of vulnerability maps are near related to human activity, they are subjected to sudden changes in time, and so it is necessary its continuous update. In view of such changes and of the possibilities of the Geographical Information Systems (GIS), it is possible to define reliable dynamical stages on the basis of the application of the authors formulated methodology.

### INTRODUCCIÓN.

El Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca del Tramo Artemisa – Quivicán HS-III de la Cuenca Sur, ubicada en la provincia La Habana, es el primer paso para la regionalización obligada de los métodos evaluativos de vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación con el fin de



contar con la información más actualizada y útil para el control de las acciones que se pudieran realizar y que contamine las aguas en un corto o largo periodo de tiempo.

El tramo en estudio ha sido evaluado desde el punto de vista de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas en al menos seis ocasiones anteriores como son el Mapa de Vulnerabilidad de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana a escala 1: 100 000 de A. M. Luna, E. Flores y J. A. Días (1982), Mapa de la Vulnerabilidad a la Contaminación de la Cuenca Sur de La Habana de N. Mosquera y E. Flores (1991), Vulnerabilidad del Acuífero Costera Sur de la Habana de R. M. Valcarce (1992?) y otros, Contaminación .....Suecas (1998) y Vulnerabilidad del Acuífero ..... y S. Jiménez (2000). Aunque no es nuestra intención realizar una comparación entre las deferentes metodologías empleadas en la confección de estos mapas, es necesario realizar al menos un análisis de la características de cada uno.

El estudio de vulnerabilidad realizado por Luna, Flores y Días (1982), aplicó la metodología propuesta por Jaroslav Vrba (1975); la cual evalúa la vulnerabilidad intrínseca a partir de las características litológicas de los acuíferos en cuatro categorías que son: Muy Baja, Baja, Media y Alta Vulnerabilidad y los posibles punto de contaminación, así como las principales fuentes de abasto. Tiene como desventaja la escala a que se realizó y que solo se analiza uno de los elementos que intervienen en la problemática de protección al acuífero.

El Mapa de la Vulnerabilidad a la Contaminación del Acuífero Costera Sur de La Habana realizado por Mosquera y Flores (1991); en este caso se realizó una evaluación de seis parámetros que fueron la litología, el desarrollo del carso superficial, espesor de la zona de aireación, explotación, transmisividad y dirección de las líneas de flujo de las aguas subterráneas. Con esta información se realizó la superposición de mapas, creándose un mapa que reúne puntualmente todas las características evaluadas y una tabla resumen de cada una condiciones similares agrupadas en familias, divididas en categorías. Tiene como desventaja lo engorroso de su ejecución y la escala en que se realizó; como acierto es su alto grado de detalle.

En el 1992, Valcarce, realizó una evaluación de las condiciones de vulnerabilidad del tramo HS-III Costera Sur de la Habana, utilizando parámetros geofísicos e hidrogeológicos llevados a características de vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, se procesaron perfiles geofísicos y se correlacionaron con parámetros hidrogeológicos (litología, transmisividad, permeabilidad, porosidad, etc.); una vez realizada la evaluación se ponderaron los parámetros y se realizó el mapa de vulnerabilidad intrínseca de la región estudiada. Este mapa posee una alta utilidad ya que se logró caracterizar los elementos fundamentales de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero en la vertical, aunque su representación grafica es bidimensional representa valores tridimensionales.

Un colectivo de estudiantes Suecas, realizaron en 1998, un estudio de algunos parámetros hidrogeológicos con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad del Tramo HS-III, aplicando la metodología DRASTIC., se basa en la identificación de los ambientes hidrogeológicos y en el establecimiento de la vulnerabilidad del acuífero con base a un esquema jerárquico numérico de los elementos: Profundidad del Nivel del Agua Subterránea, Recarga neta, Tipo de Acuífero, Tipo de Suelo, Topografía, Zona no Saturada o Vadosa, Conductividad Hidráulica. Para procesar estos elementos ¿se usó el Modelo Matemático ACUIPER.?. Al parecer se realizó una generalización de las condiciones hidrogeológicas o no se contó con todos los elementos necesarios ya que en el resultado final solamente las zonas con alto índice de explotación se diferencian del resto del territorio y que fueron tomados los rangos de clasificación directamente del DRASTIC y no determinados de los valores locales, también la escala del estudio conspiró con un mejor resultado.





En el presente estudio se realiza la valoración de la vulnerabilidad del acuífero empleando una variante del análisis de la metodología DRASTIC, realizada por Barros, Flores y Álvarez (2001) en la Cuenca de Vento, la cual toma los elementos o criterios de vulnerabilidad a la contaminación propia de las condiciones de la cuenca, todo lo cual implica una mejor protección del recurso agua subterránea del Tramo Artemisa – Quivicán.

## OBJETIVOS.

Como se ha dicho en la introducción el proyecto tiene dos objetivo principal la confección de un mapa de vulnerabilidad intrínseca de un tramo del acuífero Costera Sur de la Habana. En este trabajo se evaluarán factores naturales del acuífero como: litología, suelos, carso, zona no saturada, propiedades internas de la hidrología subterránea y el régimen de recarga, entre otros, que inciden en la vulnerabilidad propia o natural de la cuenca. También se incluirán objetivos importantes como; la protección de los pozos de acueductos, así como la ubicación de las fuentes contaminantes principales, lo que permitiría lograr un escenario lo más completo y objetivo posible que caracterice la situación actual medio ambiental de los recursos hídricos subterráneos, y por tanto, trazar políticas de preservación de los mismos, acordes a estas condiciones.

En particular, estos objetivos generales pueden precisarse en las siguientes tareas:

- Recopilación, validación y procesamiento de los datos básicos del acuífero vinculados a las condiciones hidrogeológicas intrínsecas y a la vulnerabilidad del agua subterránea.
- Estudiar las condiciones de vulnerabilidad intrínseca y aspectos de la vulnerabilidad específica, definiendo las áreas más vulnerables o frágiles y por tanto sensibles a la contaminación del agua subterránea
- Elaborar el Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca del Tramo Artemisa – Quivicán (HCS-III), a escala 1: 50 000
- Argumentar técnicamente las condiciones hidrogeológicas vinculadas al efecto medio ambiental, en general, de la cuenca, lo que permitirá en un futuro inmediato, tomar decisiones fundamentadas sobre el grado de riesgo y peligro a la contaminación y también los tratamientos o protecciones de las aguas subterráneas que se requieran.
- Dotar a las entidades encargadas de tomar decisiones relacionadas con los recursos hídricos y el medio ambiente en la cuenca de una herramienta para:
  - Manejo ambiental más racional, en sentido general
- Planificación, regulación y manejo del agua subterránea, más acorde a las condiciones propias
  - del acuífero
- Jerarquizar los objetivos socioeconómicos en la política de protección de la cuenca hidrográfica, estableciendo prioridades en la dirección de los esfuerzos para proteger el agua subterránea y resolver los problemas existentes y garantiza el abasto de tan preciado líquido.

El programa general de trabajo consistió en:

- Recopilación existente de estudios realizados en Cuba sobre la Cuenca Sur de la Habana, tanto de índole hidrogeológica como los relacionados a la calidad, contaminación y vulnerabilidad, en general.
- Revisión, depuración y confección de las bases de datos, en formato magnético, utilizables para el análisis del caso de estudio.



- Confección de varias capas de información geográfica de la cuenca Vento, según se procesen los datos existentes.
- Confección (digitalizada) del Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca del Tramo Hidrogeológica Artemisa – Quivicán, según los criterios metodológicos aplicados al caso en el INRH.

## **METODOLOGIA ADOPTADA.**

En primer lugar hay que considerar el sistema hidrogeológico propio de Cuba. Una isla alargada y estrecha donde las cuencas subterráneas son relativamente pequeñas en cuanto a áreas superficiales, no así en cuanto a recursos hídricos, pues los volúmenes almacenados son considerables al igual que su explotación, también el escurrimiento es relativamente rápido así como la percolación a estratos inferiores. El medio geológico de los principales acuíferos es cársicos (o sea, calizas cavernosas, cuevas cársicas de llanuras, con una densidad importante de esta morfología cársica, con presencia de dolinas, furnias, sumideros, cuevas, etc. ) lo que facilita la infiltración eficaz y el almacenamiento de los volúmenes subterráneos.

A partir de esta situación entendemos necesario considerar dos aspectos básicos para comenzar una valoración metodológica, conceptualmente correcta. Analizando dos zonas de evaluación:

- La cobertura o zona no saturada.
- El acuífero o zona saturada.

Y de estos dos aspectos también imprescindibles: el espesor y la permeabilidad de cada uno ya que los accidentes cársicos, el tipo de suelo, de rocas (calizas cársicas muy permeables), lo que unido a una profundidad al agua bastante cercana a la superficie el 85 % de los niveles a menos de 30 metros de profundidad, el 79 % a menos de 25 m, el 69 % a menos de 20 m, el 33 % a menos de 10 m, el 22 % a menos de 5 m, el resto solo el 12.7 % mayor de 30 m de profundidad, hacen que la contaminación al acuífero sea latente y la evolución, por tanto, sea así muy efectiva.

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente argumentado y definido, pasamos a explicar en concreto como aplicamos y valoramos la Vulnerabilidad Intrínseca:

Fórmula Evaluativa o Índice de Vulnerabilidad

$$I_v = (\text{cobertura}(1) \times P_o) + (\text{morfología cársica}(2) \times P_o) + (\text{acuífero}(3) \times P_o) + (\text{profundidad al agua}(4) \times P_o) + (\text{otros parámetros hidrogeológicos}(5) \times P_o) + (\text{puntos contaminantes y fuentes}(6) \times P_o)$$

El método se basa fundamentalmente en los siguientes parámetros decisivos en la vulnerabilidad intrínseca acuífera:

- I. Zona no Saturada (ZNS): Espesor de Cobertura  
Permeabilidad del material de suelo o cobertura  
Formas cársicas de absorción (dolinas, sumideros, cuevas, etc.  
)
- I. Zona Saturada (ZS): Espesor del material o roca acuífera  
Permeabilidad o Conductividad Hidráulica y/o Trasmisividad  
Gradiente o Pendiente Hidráulica  
Profundidad al Agua Subterránea  
Descarga o alimentación neta al acuífero



Grado de Explotación Acuífera  
Porosidad efectiva o coeficiente de almacenamiento

Y adicionalmente,

II. Evaluación Potencial de la Posible Contaminación: Puntos Contaminantes y Efluentes:

Puntos Contaminantes y efluentes.

1. Cobertura: Peso relativo (4)

Espesores	Permeabilidad	Puntos
Poco espesor de 0 a 5 m	Alta permeabilidad	5
Medio espesor de 6 a 15 m	Media permeabilidad	3
Gran espesor más de 16	Poca permeabilidad	1

Máxima vulnerabilidad: poco espesor y alta permeabilidad (5+5=10 puntos).

2. Morfología Cársica: Peso relativo (5)

Morfología cársica	Puntos
Lagunas que afloran el nivel del agua subterránea; o dolinas sin sedimento; o áreas de carso desnudo, sin cubierta.(máx. vulnerabilidad)	10
Dolinas parcialmente colmatadas	6
Dolinas colmatadas (rellenas con sedimentos)	2

3. Acuífero o Zona Saturada: Peso relativo (4)

Permeabilidad (Conductividad Hidráulica)	Puntos	Espesores	Puntos
Mínima (< 10 m/d)	1	Poco espesor (0 a 25 m)	5
Moderada (10 – 80 m/d)	2	Medio espesor (26 a 60 m)	3
Media (80 – 150 m/d)	3	Gran espesor (más de 60)	1
Alta (150 – 300 m/d)	4		
Extrema (>300 m/d)	5		

Máxima Vulnerabilidad: Poco espesor y máxima conductividad hidráulica (5+5=10 puntos)

4. Profundidad al Agua: Peso relativo (5)

< 5 m	-----	8 puntos (Máxima Vulnerabilidad)
5 – 15 m	-----	6 puntos
15 – 25 m	-----	4 puntos
25 – 35 m	-----	2 puntos
> 35 m	-----	1 puntos

5. Otros parámetros: Peso relativo (3)

▪ Transmisividad



	Puntos
Baja (< 500 m/d)	1
Moderada (500 – 2000 cm <sup>2</sup> /d)	2
Media (2000 – 5000 cm <sup>2</sup> /d)	3
Alta (5000 – 10000 cm <sup>2</sup> /d)	4
Extrema (>10000 cm <sup>2</sup> /d)	5

▪ Porosidad Efectiva

	Puntos
Baja (< 0.05 m/d)	1
Moderada (0.05 – 0.10 m/d)	2
Media (0.10 – 0.15 m/d)	3
Alta (0.15 – 0.20 m/d)	4
Extrema (>0.20 m/d)	5

▪ Gradiente Hidráulico

	Puntos
Extrema (< 0.005 m/d)	5
Alta (0.005 – 0.010 m/d)	4
Media (0.010 – 0.015 m/d)	3
Moderada (0.015 – 0.020 m/d)	2
Baja (0.020 – 0.025 m/d)	1

▪ Explotación

% del Recurso Medio Anual	Puntos
Baja (< 50 %)	1
Media (50 – 70)	3
Alta (> 70 %)	5

▪ Recarga Efectivas

	Puntos
Baja (< 0.10)	1
Moderada (0.10 – 0.20)	2
Media (0.20 – 0.40)	3
Alta (> 0.40 m/d)	4

6. Contaminación y Efluente: Peso relativo (5)

			Puntos
Ubicación	Area explotada	Abasto	4
		Riego y otros	2
	Area no explotada		1
Residual de población	Sin tratamiento		2
	Con tratamiento		1
Residual industrial	Tóxico	Sin tratamiento	6
		Con tratamiento	4
	No tóxico	Sin tratamiento	2
		Con tratamiento	1
Disposición Final Efluente	Directo al acuífero		4
	Indirecto al acuífero		2

En resumen, la valoración de la **Vulnerabilidad Intrínseca** a partir de los cuatro primeros acápites, con un saldo de 198 puntos para la valoración de la mayor Vulnerabilidad y 35 puntos para la menor, y, el cuarto tópico, relacionado a la ubicación y disposición de los focos contaminantes, o sea **Vulnerabilidad Específica Potencial** (50 puntos para el máximo y 10 para el mínimo), para aprovechar la información existente y llegar a una visión más completa sobre la vulnerabilidad del acuífero. Esto hace que el **Índice de Vulnerabilidad Total** sea de 248 en el máximo y 45 en el mínimo.



## BASE DE DATOS

La base de datos a utilizar en el trabajo se ha considerado según el siguiente esquema general:

1. Información para caracterizar la zona no saturada
2. Información para caracterizar la zona saturada (acuífera)
3. La ubicación de focos contaminantes principales y algunos elementos contaminantes para determinar su relación con la vulnerabilidad específica del acuífero.

Los dos primeros puntos, definen las propiedades para la determinación de la Vulnerabilidad Intrínseca, que es el propósito de este mapa; el tercero, implica conocer con algún detalle donde están ubicados los principales focos de contaminación y cuáles pueden ser los elementos contaminantes, lo que está en función de la vulnerabilidad específica de la cuenca, que aunque no es el objetivo de este trabajo, se pretende dar alguna información al respecto.

En general utilizar los siguientes parámetros:

- Topografía
- Paleovalles
- Litofacie
- Permeabilidad del Suelo
- Densidad del desarrollo Cársico en superficie
- Gasto específico
- Explotación autorizada
- Transmisividad
- Indicador de Recarga Natural del Acuífero
- Zona No Saturada
- Zona Saturada
- Instrucción marina
- Acueductos y pozos de explotación

## CONCLUSIONES:

- La confección del Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca del Tramo Artemisa – Quivicán (HCS-III) presenta un enfoque más amplio de los factores que influyen en las propiedades del medio acuífero ante la contaminación de sus aguas subterráneas por el hombre, tales:
- Se definió las zonas con alto grado de carsificación y el riesgo que ellas tienen ante posible vertimiento de sustancias contaminantes de las aguas subterráneas.
- Se confeccionó los mapas temáticos
- Se definió las zonas de alta, media y baja vulnerabilidad intrínseca de todo el tramo.
- La confección del esquemática de la morfometría de la cuenca (3D), para el análisis de zonas vulnerables intrínseca a la intrusión marina.



## BIBLIOGRAFÍA.

1. Aller, L. et al. DRASTIC: Standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrologic setting. EPA/ 600/ 2- 87/035. USA. 1987.
2. Cardona, N. y S. Jiménez, "Aplicación de la metodología de Vulnerabilidad de Acuífero GOD modificación, caso de estudio Tramo HCS-III, Artemisa – Quivicán", Geocuba, 2002.
3. Barros Mouriño, O. E: Groundwater abstraction in Vento Basin, Cuba case studies in " Side Effects of Water Resources Management" Project 11- 1- a- 88- PHI- III UNESCO- IAHS- Publication N° 172. 1988.
4. Barros Mouriño, O. E: "Efectos Negativos en el Manejo y Operación de los Recursos Hidráulicos Subterráneos". Ponencia. Primer Encuentro Nacional "Integración entre Economía y Ecología". ACC. Ciudad de La Habana, 1992.
5. Barros Mouriño, O. y E, León Castillo, A: "Recarga y Acuosidad en cuencas cársicas de llanuras I". Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba- TAHICU/ 96. Cuba- España- 1997
6. Barros Mouriño, O. E, Flores Valdés, Ernesto, Álvarez Nodarse, Annia D: "Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca de la Cuenca Vento". Informe Primera Etapa. CENHICA- INRH. C. Habana, 2000.
7. Barros Mouriño, O., E. Flores Valdés, "Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca de la Cuenca Vento", CENHICA- INRH. C. Habana, 2001
8. Bessouat, Claudia; Castagnino, Griselda; De los Santos, Jorge; Oleaga, Alejandro; Pacheco, Fernando: "Carta Preliminar de Vulnerabilidad del Acuífero Raigón". II Encuentro de las Aguas, Junio /99. Grupo Hidrología Subterránea Facultad de Ingeniería, Universidad de la República Oriental de Uruguay, 1999.
9. Carrillo Levy, Estrella: "Informe Hidrogeológico Sobre el Análisis del Balance de la Cuenca Vento en los Últimos 17 Años". Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos. Ciudad de La Habana, 1990.
10. CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo). Red Temática: "Vulnerabilidad de Acuíferos". Madrid, España, 2000.
11. De Smedt, P; De Brenck, W; Loy, W; Van Autenboer, T; Van Diyck, E. "Groundwater Vulnerability Maps". Aqua N° 5, pp 264- 267. G. Britian, 1987.
12. Foster, S; Hirata, R. Aoki R.C: "Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas. Una metodología basada en datos existentes, Segunda Edición Revisada. CEPIS- OPS- OMS- Perú, 1991.
13. Hernández Romero, Vladimir; Carrillo Levy, Estrella: "Evaluación de las Condiciones de la Cuenca Almendares (Vento) que Propician la Protección de sus Aguas Contra la Contaminación". Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos, Ciudad de La Habana, 1992.
14. Mosquera, N. y E. Flores, "Mapa de la Vulnerabilidad a la Contaminación de la Cuenca Sur de La Habana", INRH, 1991.
15. López, E., "Esquema General Precizado de los Recursos Hidricos de las provincias La Habana y Ciudad de La Habana, a escala 1:100 000", Empresa Hidroeconomía Habana. Ciudad de La Habana, 1991.
16. López Vera, Fernando: "Contaminación de Aguas Subterráneas". MOPTMA. Pp. 127, Madrid, España, 1991.
17. Luna, A. M., E. Flores y J. A. Días, "Mapa de Vulnerabilidad de las provincias de LA Habana y Ciudad Habana a escala 1: 100 000", INRH, 1982.
18. Portuondo López, Yoemí: "Proyecto: Mapa de Vulnerabilidad a la Contaminación de la Cuenca Hidrogeológica Vento. CENHICA- INRH. C. Habana, 1999.





19. Santiago, José F: "Estudio de la Calidad y la Contaminación de las Aguas de las Cuencas Vento-Ariganabo". Empresa Hidroeconomía Habana. Ciudad de La Habana, 1983.
20. Sahunquillo Herraiz, A: "La Calidad y la Contaminación de las Aguas Subterráneas". Boletín Geológico Minero. Vol. 110, N° 4, 1999. AIH- UNESCO. España, 1999.
21. Valcarce, R. M., "Vulnerabilidad del Acuífero Costera Sur de la Habana", ISJAE, 1992.
22. Vrba Jaroslav; Zaporozec, Alexander: "Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability". Vol. 16, 1994. IAH, IHP-UNESCO. 1994
23. Colectivo de autores "Utilización de la metodología DRASTIC, en la evaluación de la Vulnerabilidad de un acuífero costero, caso de estudio Costera Sur de la Habana", ISJAE, 1998.



## NUEVA METODOLOGÍA DE TRABAJOS GEOBOTANICOS ESPECIALIZADOS PARA LA SALUD HUMANA.

**Aldo Fernández Montero<sup>(1)</sup>, Isabel Sosa Rojas<sup>(1)</sup>, Ramona Rodríguez<sup>(1)</sup>,  
Daniel Guerra Avid<sup>(2)</sup>**

**(1) Empresa Geominera Oriente, Carretera de Siboney, km2 <sup>1/2</sup>, Alturas de San Juan, Alta Vista, Stgo de Cuba, E-mail: [afernandez@geominera.co.cu](mailto:afernandez@geominera.co.cu)**

**(2) Delegación de la Agricultura, Dpto Suelos, Carretera Central s/n. Ciudad de Bayamo, Provincia Granma.**

### RESUMEN

Novedoso proceder para caracterizar las influencias del entorno en la salud humana.

Se logró aplicar una combinación entre metodologías geológicas y agrícolas en los trabajos de campo.

La experimentación inicial del método; constituyó luego, un procedimiento para (2) dos provincias geográficas.

El poder resolutivo del trabajo fue alcanzado con las determinaciones de laboratorio.

La RUTINA DE TRABAJO garantizó la consecución adecuada del nuevo procedimiento; basado en:

Cantidad de estaciones de muestreo por sectores de trabajo.

Intereses que originan las prioridades de ejecución.

Número de "perforaciones -manuales" idóneas.

Volumen de muestras por el tipo de ecosistema, de acuerdo a la potencia del suelo.

Muestreos complementarios.

Orientación de las determinaciones de laboratorios.

Evaluación de los resultados (órdenes de adversidad y favorabilidad).

Con la metodología aplicada en la CUENCA DEL CAUTO se lograron las siguientes conclusiones:

1.\_ Delimitar los medios ambientes susceptibles a daños, por su exposición a sustancias de origen antrópico.

2.\_ Riesgos dados por niveles de anomalía según:

Participación de compuestos genotóxicos.

Presencia de acumulaciones minerales naturales.

3.\_ Participación de elementos químicos nocivos y posible origen de las preocupaciones toxicológicas.

4.\_ Valores de concentración que producen sensibilidad a DMT (Dosis máximas toleradas) en áreas vinculadas a la alimentación y salud de los seres humanos.

Este trabajo responde a los nuevos conceptos de la ORDENACIÓN DEL TERRITORIO; por proyecciones en el espacio según políticas sociales y económicas, al ofrecer expedientes o historias clínicas de los terrenos agrícolas.

### ABSTRACT

New procedure to characterize the influences of the environment in the human health.

It was possible to apply a combination of geological and agricultural methodologies in the field works.

The initial experimentation of the method constituted, then, a procedure for (2) two geographical provinces.

The resolutive power of the work was reached by the laboratory determinations.

The ROUTINE OF WORK guaranteed the appropriate attainment of the new procedure; based on:

- Quantity of sampling stations for work sectors.



- Interests that originate the execution priorities.
- Suitable - Number of perforations -manual.
- Volume of samples taking into account the ecosystem type, according to the power of the floor.
- Complementary Samplings.
- Orientations of the laboratories's determinations.
- Evaluation of the results (orders of adversity and favorable).

With the methodology applied in the BASIN OF THE CAUTO river the following conclusions they were achieved:

- 1.\_ Define the susceptible environments to damages, for their exposition to substances of antropic origin.
- 2.\_ Risks given by anomaly levels according to:
  - a) Participation of compound genotoxics.
  - b) Presence of natural mineral accumulations.
- 3.\_ Participation of noxious chemical elements and possible origin of the toxicological concerns.
- 4.\_ Concentration values that produce sensibility to DMT (maximum doses tolerated) in areas linked to the feeding and the human beings' health.

This work responds to the new concepts of the ORDINATION OF THE TERRITORY; for projections in the space according to social and economic devices, when offering files or clinical histories of the agricultural lands.

## INTRODUCCION

Se aborda la experiencia de aplicación, de un procedimiento de trabajo de muestreo en áreas geólogo - agrícolas, para el estudio del medio ambiente en una región del país.

Se presenta, la combinación de métodos de la actividad geoquímica como disciplina geológica aplicada a una preocupación toxicológica del medio ambiente, por acumulación natural de minerales que alteren los contenidos "standard - clarkes" del entorno y de la disciplina edafología con aplicaciones al quimismo del suelo en cultivos agrupados según diferentes usos.

Con anterioridad no había constituido objetivo alguno de las prospecciones geológicas ni de los levantamientos agrícolas del suelo la experiencia que se expone.

Por supuesto, con mucha menos intención vinculado a problemas higiénico - epidemiológicos y muy en específico relacionado con la salud de los habitantes de una región y los aportes químicos que llegan a sus alimentos por los medios que los albergan.

Inicialmente, a ciencias ciertas no se tenía idea exacta de cómo sería la rutina de trabajo; en cuanto a algunos muestreos.

Como principio, entre otros caracteres a estudiar el fundamental resultaba el ambiente químico; en apoyo a las características físico - químicas y de potabilidad del agua.

En fin, los objetivos de la propuesta es la definición de una metodología de trabajo, como una solución para un problema estatal que evitaba en su conjunto imprecisiones de procedimientos. El participar diferentes especialistas en una tarea común y en distintas regiones, exige de una necesaria homogeneidad de ejecución.

Se acordó la experiencia como procedimiento de trabajo geoquímico, incluyéndose los



pormenores del muestreo básico para estudios del medio ambiente; como resultado de la comprobada aplicabilidad del método.

## METODOS

El origen de la metodología de trabajo, cuenta con tres etapas preliminares o de PROYECCION:

Etapa I .\_ Presentación de una tarea técnica al MINISTERIO DE LA INDUSTRIA BASICA, exponiéndose los métodos tradicionales de la prospección para yacimientos de minerales sólidos, planteándose efectuar muestreo litogeoquímico de suelo, para pretender alcanzar un estudio integral del suministro químico de la tierra a las plantas, animales y al hombre. Secundada por muestreo de sedimento de fondo, en previsión a medios muy húmedos o inundados y con respaldo de itinerarios por perfiles regionales. Muestreo complementario de foliaje (hojas) y frutos (vegetales – hortalizas).

Etapa II.\_ Vínculos con especialistas del CITMA y SALUD PUBLICA, para alistar los elementos químicos a tener en cuenta en la realización del trabajo. Son necesarias múltiples ideas relacionadas con varias enfermedades de diferentes categorías, así como datos de contaminación y aplicación o existencia de sustancias tóxicas y nocivas.

En el transcurso del tiempo han sido múltiples las sustancias químicas aplicadas al entorno natural. Se partía de los elementos conocidos como minerales (Ca, Mg, P, K, Cl, Fe, Zn, Mn, Cu, Si --- Se, Mo, I, B, Cr, Sn, V, Ni) necesarios al hombre.

Etapa III .\_ Unificación con procedimientos de técnicas agrícolas, el acercamiento con el departamento de atención al suelo del MINISTERIO DE LA AGRICULTURA resultando evidente esclarecer procedimientos, atención a la salinidad (sales de Cd, Be, Ni, Cr, As).

Participación conocida del quimismo de fertilizantes, pesticidas, hierbicidas y otros contaminantes y sus niveles de aplicación por las entidades ejecutivas.

En un inicio se tomaban muestras de suelo, de forma muy aleatoria, y a intuición de cualquiera de los especialistas de un grupo de trabajo. Podía ser un cultivo de papa, próximo a un pozo hidrogeológico, que incluso en el jardín o patio de una casa del vecindario. Las cantidades o volúmenes, lo mismo de puntos de muestreo, que las cantidades de muestras resultaban irregulares, caóticas.

Por supuesto, de forma irregular resultaba todo el procedimiento relacionado con el trabajo, incluso la solicitud de recursos, cuestiones económicas, etc. Se proponen los primeros proceder como:

- a. El empleo de un “:tornillo” perforador para la toma de muestra, de 1.50m de longitud, con “ojo de aguja” en su extremo donde se acomoda y trae a la superficie la muestra a la profundidad deseada y marcable por el instrumento metálico.
- b. El marcaje topográfico del lugar de la toma de muestra, con las planchetas GEOCUBA a escala 1:25 000 y el amarre cartográfico sin instrumento, eran ya parte del trabajo.



La conjugación de factores que incluía entre otros el tiempo real del trabajo para la toma de las muestras, exigía de la definición de una metodología. De lo anterior fue como se comenzó a definir una estructura o regla de trabajo; que incluye las categorías provincia, municipio, consejo popular, estación de muestreo, punto de toma de muestra, intervalos de muestreo y muestra según análisis de laboratorio.

## RESULTADOS

1) Las estaciones de muestreo se definieron de acuerdo a un volumen mínimo de 2 - 3 por consejo popular, siendo definidas estas unidades geográficas, en cuanto a cantidad, por coordinación con todos los factores (gobierno-medio ambiente-salud pública). No obstante, la prioridad y el número total definitivo de estaciones lo decidía el especialista en el campo con los intereses de incidencia población - agricultura y respondiendo a una escala de trabajo aproximada entre 1: 200 000 – 1: 500 000, objetos de muestreo cada 2 – 5 Km<sup>2</sup> y distancia no menor a 0.8 – 1.5 Km entre ellos.

2) Dentro de cada territorio administrativo las estaciones de toma de muestras podían responder a intereses principales, como:

- a\_ higiénico – epidemiológico,
- b\_ hidrogeológico (toma de muestras de agua),
- c\_ agrícola alimentario y
- d\_ agrícola variado.

Estos dos últimos se convirtieron en los más abordados; por su incidencia sobre la población según el listado siguiente:

Categoría del cultivo. (Definición de estaciones).

- I.\_ Mini – huertos, semilleros, huertos escolares, pequeñas fincas o parcelas.
- II.\_ Huertos intensivos, organopónicos, grandes fincas.
- III.\_ Plantaciones; (caña, café, arroz, plátano, papa, pasto, cítrico).
- IV.\_ Terreno no agrícola. (Interés hidrogeológico o higiénico – epidemiológico)
- V.\_ Desconocido.

Uso Agrícola.

- a.\_ Hortaliza.
- b.\_ Cultivos Varios.
- c.\_ Amplio monocultivo; (caña, café, arroz, plátano, papa, pasto).
- d.\_ No agrícola.
- e.\_ Desconocido.
- s.\_ Semillero.
- p.\_ Terreno en preparación.

Categoría estimada del quimismo; aplicada a los cultivos.

- 1.\_ Inocuo. (Fumigación ligera).
- 2.\_ Tóxicos moderados. (Urea, fertilizantes variados).
- 3.\_ Tóxicos. (Pesticidas).
- 4.\_ Desconocido.
- A.\_ Sin aplicación química conocida.
- B.\_ Con aplicaciones químicas. (Sin detalles o especificaciones).

3) Situaciones de muestreo creadas (cantidad de muestras a tomar):



Los puntos de muestreo responden a un número no mayor de 5 por estación y la distancia entre ellos de 40 – 50 m en perfil o vértices de un polígono. Según la situación particular de cada punto se toman de acuerdo a escala aproximada de 1: 25 000 – 1: 50 000, inciden la extensión en hectáreas del terreno (ej: organopónico) y su significación social:

- a).\_ Una sola muestra de 0-20cm de profundidad, debido a la ausencia de horizontes profundos del suelo.
- b).\_ Dos muestras de 0-20cm y 20-40cm de profundidad, presencia de todos los horizontes representativos; resultó ser el método ordinario (regular).
- c).\_ Cuatro muestras de 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm y 30-40cm, para casos de salinidad detectada, conocida. (Por los vínculos de este fenómeno con el quimismo).

## **DISCUSIÓN.**

Resultó estimado método idóneo, la toma de dos (2) muestras de suelo por punto de muestreo, de los horizontes de 0-20cm y de 20-40cm de profundidad; el primero representante de la materia orgánica expuesta a todos los efectos de ataque químico directo y a la intemperización; y el segundo representante de los aportes del basamento rocoso y por tanto el mayor concentrador del aporte químico del sustrato.

El peso idóneo de la muestra debe ser de aproximadamente 1 Kilogramo y las características a describir resultan ser el color y las dimensiones al tacto de la masa (arcilla, arcilla arenosa, arenosa).

La cantidad de perforaciones – manuales para cada punto según los destinos – objetivos - especializaciones de estudio en los laboratorios; para un mismo sitio coincidente o punto de muestreo (ESTACIONES) deben resultar tres (3) :

- a) Laboratorio de Minerales. Especializado en Química Analítica. (2 muestras, una de cada horizonte).
- b) Laboratorio. Especializado en Aplicaciones Químicas por pesticidas. (1 muestra, de la capa 0-20cm).
- c) Laboratorio de Suelos y de Tejidos Vegetales del MINAGRI para estudios ordinarios o regulares del suelo y vegetales. Para este último una muestra del perfil entre 20 – 40 cm. Por regularidad, resultaban 4 muestras, según el tipo de muestreo ordinario (0-20cm y 20-40cm) y de acuerdo a los destinos de estudio.

Dos muestreos complementarios, muestreo de sedimentos en los lechos de la red fluvial y el muestreo de foliaje y frutos. Se conservaba el primero desde la proyección y surgió por múltiples deducciones el segundo. La ocasionalidad, de los muestreos complementarios antes mencionados, respondían en primer término a la existencia de las muestras, distinguidas según los dos tipos de muestras en:-Sedimentos de Fondo; proximidad a la red fluvial de los puntos de toma de muestras de suelo.-Muestra biogeoquímica; coincidencia de cultivo comestible por la población, condimentos, hortalizas, viandas. (Se excluyeron los cultivos agrícolas extensivos, arroz, papa, caña, café, pasto). Se persiguió cierta representatividad por municipios, 2-3 puntos de amplia incidencia en la población para crear “*patrones*” de comportamiento; entre otros aspectos de interrelación suelo-plantas (hojas-frutos) o de los medios LITOSFERA – BIOSFERA; el aporte o transmisión de un medio al otro.





La continuidad de la metodología de los trabajos de campo; se presenta a través de las relaciones de vínculos de las siguientes operaciones:

- (A).\_Muestreo geoquímico – agrícola.
- (B).\_Trabajos de gabinete para la asimilación de los datos reales de campo.
- (C).\_Laboratorio – Solicitud de análisis – Resultados de análisis.
- (D).\_Evaluación de los resultados.

Los embarques de muestras al laboratorio, de forma general al finalizar cada municipio, contaban con relaciones que recogían los datos reflejados en las etiquetas de cada bolsa de “nylon” con la muestra, en la hoja topográfica y en la libreta de apuntes del muestreo; para conformar los siguientes datos reales:

- Etiqueta de la muestra: fecha, código del punto de muestreo, código de la muestra, profundidad de la toma.
- Plancheta topográfica: provincia, municipio, código del punto de muestreo, coordenadas Lambert X, Y.
- Libreta de campo: fecha, consejo popular, código del punto de muestreo, código de la muestra.

En los embarques se propone solicitar para todas las muestras de suelo la determinación de 14 compuestos o macrocomponentes y un número de 18 elementos denominados “menores o metales”.

Macro - componentes (%). (Controles internos y externos).

Suelo. Sedimento. Foliaje – Frutos.

CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, PPI, S.

Elementos Menores (ppm). (Controles internos y externos).

Tóxicos- Cd, Pb, Mg, Sb, Be, As, Bn; Necesarios- Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Cu, Bi, V, Mo;  
Representativos de Series- Ga, La.

## CONCLUSIONES.

- Propuesta de una metodología de muestreo, para examen medioambiental referido al suelo; como resultado combinado entre procedimientos de estudios geológico y agrícola; y en específico a caracteres químicos.
  - Extensión de la metodología a muestreos complementarios referidos a la vegetación alimentaria y a los sedimentos por aportes de arrastre de la red fluvial.
  - El efecto económico, radicado en evitar rectificaciones y complementaciones de trabajo por disparidades de procedimientos, al lograrse por experiencia aplicada una metodología de muestreo única y acorde a cualquier territorio.
1. Se recomienda que la metodología de trabajo propuesta, se aplique en estudios medioambientales referidos al entorno (sectores) geólogo – agrícola.
  2. Recomendar se definan de forma oficial las consideraciones (químicas, biológicas) que se deriven del trabajo, como para crear conceptos técnicos y órdenes o grados para evaluaciones, como resultado definitivo de todo el estudio.



3. Prestar atención al orden de ejecución por prioridades, de acuerdo a la selección de los puntos o estaciones de muestreo; por su vínculo con la racionalidad del trabajo.
4. Creación de un expediente ecológico por el sector o área administrativa que el trabajo precise o los especialistas estimen, en coordinación con el gobierno.

# **ACTIVIDAD SALINERA. ASPECTOS OPERACIONALES, AMBIENTALES Y LEGALES QUE GARANTIZAN SU SOSTENIBILIDAD.**

**Lic. Castillo Burgos Jorge E.**

**Oficina Nacional de Recursos Minerales. Salvador Allende No.666. e/ Oquendo y Soledad Centro Habana. C.Habana. Cuba. C.Elect. [castillo@onrm.minbas.cu](mailto:castillo@onrm.minbas.cu).**

## **RESUMEN**

La actividad minero- salinera en condiciones de islas tropicales, es una actividad que si bien puede afectar el medio ambiente, también puede ser afectada por agentes externos ya sean naturales (eventos climáticos-precipitación) y/o antrópicos (vertimientos de residuales, tanto en la zona emergida como sumergida, relacionada con zona de alimentación), por lo que para lograr un uso racional de las salinas y una correcta Gestión Ambiental en dicha actividad, debe concebirse en dos dimensiones, a saber, la protección y uso racional de las Salinas y del Medio Ambiente

Para el desarrollo del presente trabajo se apoyó en el resultado de las auditorías y las inspecciones estatales realizadas a las salinas, así como la comparación dicha actividad en Cuba, con la de la práctica internacional.

El Trabajo consta de 2 partes, el Marco Legal Regulatorio que tutela la Actividad Salinera en Cuba, y el diagnóstico de los principales aspectos tecnológicos, operacionales y ambientales de dicha actividad, visto estos desde un enfoque geominero, ambiental, con énfasis en la Gestión Ambiental, en las dos dimensiones antes citadas.

**Dentro de los principales resultados del trabajo están:** el diagnóstico e identificación de los principales aspectos legales – operacionales y ambientales que presenta la actividad salinera en Cuba, como son entre otros, la contaminación a las salinas por factores socioeconómicos y naturales, así como las afectaciones que estas ocasionan al medio ambiente (intrusión salina, salinización a los suelos litorales, etc.), con las correspondientes recomendaciones para solucionar dichos aspectos.



## PROPUESTA DE CLASIFICACION DE LOS RECUROS DE AGUAS MINERALES DE LA NACION Y SU BALANCE O ESTADO ANUAL

Llc. Castillo Burgos Jorge E.

Oficina Nacional de Recursos Minerales. Salvador Allende No.666. e/ Oquendo y Soledad Centro Habana. C.Habana. Cuba. C.Elect. [castillo@onrm.minbas.cu](mailto:castillo@onrm.minbas.cu).

El presente trabajo consiste en la elaboración de una **Clasificación de los Recursos de Aguas Minerales**, y el procedimiento de la confección **del Balance o Estado Anual de los Recursos de los yacimientos** del país a elaborar por los concesionarios, donde se sustituyen los conceptos de **Recursos y Reservas**, que tradicionalmente se han utilizado en la exploración y explotación de dichas aguas minerales, por los conceptos de **Recursos Disponibles y Recursos de Explotación**.

Para el desarrollo del presente trabajo se apoyó en lo fundamental, en la generalización del resultado del trabajo de control y fiscalización de la prospección, explotación y protección de más de 50 yacimientos de aguas minerales presentes en Cuba por más de 15 años, así como la comparación dicha actividad, con la de la práctica nacional e internacional.

Esta clasificación está acorde con la sostenibilidad de la explotación, la protección y uso racional de las aguas minerales, pues permite entre otras cuestiones, controlar de forma permanente **la estabilidad del caudal y de la calidad de las mismas durante la explotación**, todo lo cual suple o complementa el limitado proceso evaluativo tanto en tiempo como en espacio, de que son objeto tan dinámico y variable recurso mineral, aspecto importante tenemos en cuenta que la estabilidad del agua representa el atributo y condición indispensables para la denominación de la misma como Mineral según la Norma de Agua Mineral vigente.

En Relación al Balance o Estado de los Recursos que se introduce, tiene dentro de sus objetivos principales tener actualizado el estado cuantitativo y cualitativo de los yacimientos, partiendo de la clasificación antes expuesta.

**Dentro de los resultados del presente trabajo están:** la introducción de una clasificación de los diferentes recursos de aguas minerales, que lleva implícita la sostenibilidad de las mismas, a saber, permite proyectar un caudal de explotación igual o menor a los Recursos de Explotación del yacimiento garantizando su renobabilidad, la elaboración de un procedimiento que permite el control de la explotación de estos yacimientos, que concluye con el Informe del Estado Anual de dichos recursos, y por ende su certificación constante por la Autoridades Mineras y Sanitarias del país, así como, la incorporación al Balance Anual de los Recursos y las Reservas de la Nación de la información correspondiente a estos recursos minerales, con el carácter dinámico que caracterizan a dichas aguas.



## PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES PROVOCADOS POR LA MINERÍA METÁLICA EN UNA REGIÓN DE CUBA OCCIDENTAL.

**Carlos César Cañete Pérez.**

*Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM). Salvador Allende # 666, Centro Habana, Ciudad de la Habana, Cuba; C. Electrónico: carlos@onrm.minbas.cu*

### RESUMEN.

Los procesos mineros generan impactos sobre el Medio Ambiente y son producidos a través de todas sus fases.

La ONRM ejerce el control del cumplimiento de los Planes de Protección y de rehabilitación Ambiental de las minas a través de las inspecciones y en el proceso de estas se detectan los principales impactos y áreas afectadas.

El objetivo del trabajo es mostrar la situación provocada por los impactos ambientales de la minería en la región y proponer además las principales recomendaciones de mitigación a tener en cuenta por los mineros.

Entre los principales problemas ambientales que se muestran están:

- Contaminación del aire por emisiones de gases y partículas respirables conteniendo metales pesados.
- Contaminación de suelos por material particulado, metales disueltos, por sales de efluentes líquidos y por emisiones a la atmósfera de material particulado y cambio de pH.
- Contaminación de aguas superficiales, marinas y subterráneas por emisiones de efluentes líquidos, material particulado, metales disueltos, cambio de pH y sales, etc.
- Contaminación y destrucción de recursos naturales renovables que absorben contaminantes desde el aire, las aguas y el suelo.
- Destrucción de paisajes, suelos y áreas silvestres.
- Migración de la fauna,
- Extensión de las situaciones de contaminación de recursos naturales a la contaminación de las personas, tanto en el ambiente poblacional como en el ambiente laboral,
- Generación de drenaje ácido de mina y movilidad de metales pesados y otros en zonas de escombreras, depósitos y canteras,

### ABSTRACT

The mining processes generate impacts on the Environment and are produced through all their phases.

The ONRM exerts the control of the fulfillment of the Protection plans and of Environmental rehabilitation of the mines through them inspections and in the process of these the principal impacts and affected areas are detected.

The objective of the work is to show the situation caused by the environmental impacts of the mining industry in the region and to propose in addition the main recommendations to mitigation to consider by the miners.

Between the principal environmental problems that appear they are:

- Pollution of the air by gas emission and breathable particles containing heavy metals.



- Pollution of soils by breathable particles, dissolved metals, salts out of effluents and for emissions to the atmosphere of breathable particles and change of pH.
- Pollution of superficial, marine and underground waters by emission of effluents, breathable particles, dissolved metals, and change of pH, etc.
- Pollution and destruction of natural renewable resources that absorb pollutants from the air, the waters and the soil.
- Destruction of landscapes, soils and wild areas.
- Migration of the fauna,
- Extension of the situations of pollution of natural resources to the pollution of the persons, both in the population environment and in the labour environment,
- Generation of acid mine drainage and mobility of heavy metals and others in Overburden deposit, tailing dam and open pit.

## INTRODUCCION.

La minería fue una de las primeras actividades económicas que se desarrolló en Cuba. Desde el comienzo de la historia, la evolución del ser humano ha implicado un íntimo contacto con la tierra, sobre la superficie terrestre el hombre ha edificado su hogar, de las minas ha obtenido sus combustibles con los que ha generado calor y potencia, sus metales para su uso y decoración y todo el material que ha necesitado para sus construcciones.

Los procesos mineros, al igual que cualquier otro proceso productivo, generan impactos sobre el medio ambiente y estos se producen a través de todas las fases de la actividad minera, desde la exploración hasta después de su cierre, por lo que se deben tomar las medidas necesarias desde el inicio de la inversión. La experiencia mundial ha comprobado que corregir impactos resulta de 3 a 4 veces más caros que incorporar las acciones mitigadoras desde el inicio de la inversión. Para estimar los costos marginales sociales es necesario estimar los daños económicos en lugar de los daños físicos. El deterioro del medio ambiente repercute por lo tanto en la actividad económica.

Las tendencias actuales de protección del medio ambiente (Comisión Nacional del Medio Ambiente (1994) (modificado) son:

- ♦ Mayores exigencias ambientales de los países desarrollados hacia los subdesarrollados.
- ♦ Buscar la fórmula de desarrollarse sin dañar, o minimizando el daño al medio ambiente.
- ♦ Establecer estándares de calidad ambiental cada vez más estrictos.
- ♦ La aplicación del concepto, "el que contamina paga" y en los últimos tiempos la necesidad de implantación de Tecnologías Limpias.

En Cuba la conciencia ambiental ciudadana, empresarial y política está creciendo y en la actualidad es muy fuerte, cada vez existen más leyes, reglamentaciones y normas ambientales que deben ser cumplidas por las empresas, la comunidad y la sociedad en general.

La actividad minera sustentable es de utilidad pública e interés nacional prioritario y está establecida en la Carta Magna, en la Ley de Medio Ambiente, la Estrategia Ambiental Nacional, las Estrategias y Políticas Ambientales de los Organismos Centrales del Estado, la Ley de Minas y su Reglamento, y demás regulaciones y normas vigentes.

La Constitución de la República de Cuba, aprobada en referendo público en 1976, en su artículo 27 postula, que el Estado protege al medio ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer





más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras.

A finales de 1976 se crea la Comisión Nacional para la Protección del Medio Ambiente y el Uso Racional de los Recursos Naturales (COMARNA), que funciona hasta 1994, que pasan estas funciones al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

En 1981 se aprueba la Ley 33, donde ya se esbozaba la reglamentación para la realización de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de las nuevas inversiones, a esta ley le faltó la aprobación de las reglamentaciones complementarias y es derogada por la Ley 81 de Medio Ambiente que es aprobada por la Asamblea Nacional con fecha de 11 de julio de 1997 y que es una ley marco muy completa desde el punto de vista ambiental.

En marzo de 1995 se aprueba la Resolución 168 del CITMA, en la cual se establece el Reglamento para la realización de las EIA y el otorgamiento de las licencias ambientales, que es derogada por la Resolución 77 de 1999.

La Ley 76. Ley de Minas, publicada en la Gaceta Oficial de la República en Enero de 1995, en su articulado faculta a la Oficina Nacional Recursos Minerales (ONRM), como Autoridad Minera a controlar la minería y la ejecución de sus planes de protección del medio ambiente y de las medidas para mitigar el impacto ambiental y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar el impacto derivado de sus actividades.

En Septiembre de 1997 es publicado en la Gaceta Oficial de la República de Cuba el Decreto No. 222 "Reglamento de la Ley de Minas" que complementa lo establecido en la Ley 76 y en el que se describen las diferentes contravenciones relacionadas con dicha Ley. En su artículo 87 se establece, que cada concesionario está obligado a crear una reserva financiera en una cuantía suficiente para cubrir los gastos que se deriven de las labores de restauración de las áreas de la concesión y de las áreas devueltas, el plan de control de los indicadores ambientales y los trabajos de mitigación de los impactos directos e indirectos ocasionados por la actividad minera.

Es necesario señalar también, que actualmente se trabaja fuertemente en el Comité Técnico Nacional de Normalización sobre Gestión Ambiental para el completamiento y actualización de las normas ambientales.

El objetivo del presente trabajo es mostrar, a través de una serie de fotografías, la situación ambiental provocada por los impactos de la minería en una región y proponer además las principales recomendaciones para su mitigación a tener en cuenta por los Titulares de este tipo de concesiones.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

La ONRM, como Autoridad Minera del país, ejerce el control de la situación ambiental y del cumplimiento de los Planes de Protección y de rehabilitación del Medio Ambiente de las empresas mineras, a través de las Inspecciones Estatales y en el proceso de las mismas se detectan los principales impactos y áreas afectadas por la actividad minera.

En la región de la que se trata este trabajo hay dos minas metálicas, ambas comenzadas a explotar antes de la promulgación de la legislación minera y ambiental actual, relativamente



cerca una de otra y se ubican aproximadamente a 2-3 Km. al sur (aguas arriba) de un poblado del Occidente de Cuba.

El poblado comenzó como puerto para una mina que comenzó a explotarse a principio del siglo XX y que continuó su explotación hasta 1997 que se aprobó su plan de cierre. En esa época fue dragado el canal, que comunica la bahía con el puerto y cerca de este se edificó lo que hoy es la parte antigua del poblado. En los años siguientes la infraestructura del lugar creció lentamente y en 1930 se construyó un pequeño aeropuerto y en la década del 70 se comenzó a desarrollar una nueva zona urbana, localizada hacia el SE de la zona vieja del poblado.

El área del puerto albergaba otras instalaciones, entre las se destaca por sus implicaciones ambientales, un almacén de concentrado de cobre que era trasladado por patanas hacia los barcos y estos cargados con jaibas, lo que implicaba considerables derrames de concentrado en las aguas y su correspondiente contaminación con metales pesados. En 1961 se construyó una planta termoeléctrica cerca del muelle, a través del cual se descargaba el petróleo para el generador.

En el proceso de ejecución de la minería se lleva a cabo la deforestación con el objetivo de quitar la vegetación y el suelo, para la posterior extracción del material estéril, de baja ley, que se deposita en escombreras y del mineral que es procesado en las plantas de beneficio, por lo que trae como resultado:

- Alteración del relieve por las obras mineras,
- El cambio del uso y ocupación del suelo,
- Alteraciones estéticas del paisaje,
- Pérdidas del sustrato rocoso,
- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas y alteraciones en sus regímenes,
- Erosión de los suelos producto al desbroce, construcción de caminos, escombreras, extracción de mineral, construcciones para drenaje, etc.
- Generación de drenaje ácido de roca y movilidad de metales pesados y otros en zonas de escombreras, depósitos y canteras.

Según las Inspecciones (Cañete Pérez C. C, 1997-2004) realizadas por la Dirección de Minerales de la Oficina Nacional de Recursos Minerales los principales problemas ambientales en la región estudiada son:

- Contaminación del aire por emisiones de gases y partículas respirables conteniendo metales pesados.
- Contaminación de suelos por material particulado, metales disueltos, por sales de efluentes líquidos y por emisiones a la atmósfera de material particulado y cambio de pH.
- Contaminación de aguas superficiales, marinas y subterráneas por emisiones de efluentes líquidos, material particulado, metales disueltos, cambio de pH y sales, etc.
- Contaminación y destrucción de recursos naturales renovables que absorben contaminantes desde el aire, las aguas y el suelo.
- Destrucción de paisajes, suelos y áreas silvestres.
- Migración de la fauna,
- Extensión de las situaciones de contaminación de recursos naturales a la contaminación de las personas, tanto en el ambiente poblacional como en el ambiente laboral,



## OBRAS MINERAS Y RESIDUALES.

Hay dos minas metálicas a cielo abierto, aproximadamente a 0,5 Km. una de otra, que comenzaron la explotación antes de la promulgación de la Legislación Minera y Ambiental actual, compuestas por dos canteras, siete depósitos de minerales y escombreras, cuatro presas de colas y dos plantas de proceso.

Debido a la composición química y mineralógica de las menas oxidadas y más aún de las menas sulfurosas subyacentes de ambas minas, indican la generación de drenaje ácido, este impacto es mayor en las escombreras y depósitos, producto al tiempo de exposición y al aumento de las superficies de contacto, así como en algunos frentes de extracción de mineral, donde han quedado expuestos minerales sulfurosos y que llevan tiempo sin ejecutarse laboreos mineros. En las rocas encajantes es muy frecuente la presencia de piritización, lo que origina también drenaje ácido de las escombreras. Estas menas se oxidan con facilidad en las mina, produciéndose su autocombustión, drenaje ácido y metales disueltos como se puede observar en los resultados del muestreo histórico y la medición de pH de las aguas que salen de un socavón, del escurrimiento superficial de las canteras, de las escombreras y depósitos.

El drenaje ácido de una mina se define como la contaminación química inorgánica del agua que resulta de una oxidación natural de los sulfuros contenidos en la roca que está expuesta al aire y al agua a menudo acelerado por la actividad microbiana y en casos extremos, este drenaje se caracteriza por un pH. bajo, un alto contenido de sulfato y niveles elevados de metales disueltos. Estos factores tienen por lo general efectos nocivos sobre la calidad del agua en el ambiente adyacente que lo recibe. El *Thiobacillus ferrooxidans*, es una bacteria común que acelera la oxidación de los sulfuros creando ácido sulfúrico y liberando metales pesados como cobre, níquel, plomo y zinc (Hutchison I. P., R. D. Ellison, 1992).

La generación de drenaje ácido se considera de forma resumida en varias etapas (Hutchison I. P., R. D. Ellison, 1992):

- Oxidación química o biológica de la pirita y otros minerales sulfurosos cerca del pH. neutral produciendo hierro ferroso y acidez. Esto puede ser catalizado por la bacteria antes mencionada, a través del contacto directo con los minerales sulfurosos.
- En presencia de oxígeno el hierro ferroso es oxidado a férrico, que precipita como  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  y libera más acidez y a medida que el pH baja, cerca de 3,5; el ión férrico permanece en la solución y oxida la pirita directamente.
- La barita cataliza rápidamente el proceso oxidando el hierro ferroso a férrico y la producción de acidez es aumentada varias veces en magnitud. Grandes cantidades de ácido asociado con la liberación de metales en solución son producidas por este fenómeno. La abundancia de minerales sulfurosos es un factor importante del drenaje ácido.

El agua también juega un papel importante en disolver productos de oxidación de la superficie de minerales sulfurosos. El ácido y los sulfatos de metales pueden acumularse durante el periodo de sequía y salir después en tiempos de precipitaciones.

Los minerales de carbonatos como la calcita y la dolomía, son los principales componentes naturales neutralizantes de ácidos de los residuales de minas. Estos minerales pueden neutralizar el ácido producido por la oxidación de los sulfuros y prevenir el establecimiento de bajos pH. requeridos por los microorganismos.



El análisis de las muestras tomadas en los dos yacimientos en diferentes etapas demuestra que son generadores de ácido de mina y se corrobora por el constante bajo pH de sus efluentes líquidos que oscila entre 1,5 y 3,1.

Por todo lo anteriormente señalado, principalmente por las afectaciones continuadas y acumulativas en los recursos hídricos e hidrogeológicos asociados y en primera instancia las implicaciones que pudiera tener en la salud de los residentes del poblado que reciben agua de diferentes pozos subterráneos de abasto, ubicados en los alrededores de poblado y además ser utilizadas como aguas de riego, de baño y que por la cadena trófica también puede pasar al hombre, se considera importante priorizar la ejecución de proyecto de cierres y rehabilitación e implementar las buenas prácticas de la minería en las nuevas inversiones y en las actuales explotaciones de esta zona y en general en el país.

## CONCLUSIONES.

Como se puede observar la minería ocasiona impactos en todas sus etapas o fases, por lo que se deben tomar todas las medidas desde el inicio de la inversión y en los casos de Derechos Mineros Antiguos (aquellas minas que se comenzaron a explotar antes de la promulgación de la legislación minera y ambiental actual) se deben tomar medidas mitigadoras, implementar Sistemas de Gestión Ambiental, Políticas y Estrategias Ambientales acordes a los impactos que provocan.

Por las afectaciones continuadas y acumulativas en el medio ambiente y principalmente en los recursos hídricos asociados y en primera instancia las implicaciones que pudiera tener en la salud de los residentes del poblado que reciben agua de diferentes pozos subterráneos de abasto, ubicados en los alrededores del poblado y además ser utilizadas como aguas de riego, de baño y que por la cadena trófica también puede pasar al hombre, se considera importante la ejecución de proyectos de cierres y recuperación de áreas afectadas, allí donde aún no se han comenzado, aumentar el ritmo de reforestación y darle cumplimiento a dichos planes, así como implementar las buenas prácticas de la minería en las nuevas inversiones y en las actuales explotaciones de esta zona y en general en el país, ya que estas tienen una gran repercusión en la calidad de vida de los pobladores de los alrededores de las concesiones mineras.

## RECOMENDACIONES.

1. Realizar el riego de agua periódico de los caminos mineros para mitigar las emisiones de polvo a la atmósfera, así como evitar la exposición prolongada a la intemperie de los minerales de fácil autocombustión.
2. Realizar el diseño y construcción de los depósitos y escombreras acorde a las características y composición química - mineralógica de los minerales a explotar, con el objetivo de disminuir los costos de tratamiento de residuales y de mitigación de impactos ambientales, comenzándose a implementar las prácticas de Producción + Limpia.
3. Construcción de sistemas de tratamiento de residuales donde se neutralice el drenaje ácido proveniente de las escombreras, depósitos y obras mineras en general.
4. Realizar la impermeabilización de los afloramientos de rocas generadoras de drenaje ácido en algunas zonas de las canteras y mientras no puedan cumplir con esa medida por necesidades de la minería, construir presas filtrantes para la neutralización del drenaje ácido.



5. Hacer el manejo de los residuales de forma tal que se haga una total recirculación y aprovechamiento de los mismos y en caso de ser imprescindible su vertido, darle el debido tratamiento y neutralización antes de su disposición final.
6. Recubrir con colas el piso de las presas de colas, evitándose la canalización de las aguas de escorrentía superficial y con ello la erosión del sello impermeable para que no pasen a las aguas subterráneas residuos líquidos con contaminantes altamente tóxicos.
7. Realizar la impermeabilización y siembra de pasto estrella en las Presas de Colas generadoras de drenaje ácido o que puedan aportar sustancias tóxicas y peligrosas con el objetivo de encapsular dichos depósitos y disminuir la erosión de sus taludes, ya que su composición es de materiales sueltos.
8. Depositar las colas en los depósitos en funcionamiento de tal forma que se puedan construir distintos niveles de terrazas que garantice su estabilidad, ir reforestando los taludes a medida que aumente la altura para controlar la erosión y arrastre de colas fuera del área diseñada para ello.
9. Confeccionar Proyectos de Cierre y Rehabilitación de minas, someterlos al proceso de aprobación desde el inicio de la inversión para poder realizar la rehabilitación de las áreas minadas a medida que avance la minería, lo que disminuye considerablemente sus costos y evita muchos problemas ambientales en el proceso de minado.
10. Definición estatal del procedimiento financiero necesario para rehabilitar áreas minadas con anterioridad a las regulaciones actuales (Ley de Minas, Ley de Medio Ambiente, etc.), así como para que se obligue a los concesionarios a crear fondos para la protección del Medio Ambiente y el cierre de minas.

## BIBLIOGRAFIA.

Cañete Pérez C. C. (1997-2004). **Actas de Inspección Estatal ONRM (Minería y Medio Ambiente). Yacimientos de Cuba Occidental.** Ciudad de la Habana.

Comisión Nacional del Medio Ambiente (1994). **Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Conceptos y Antecedentes.** Santiago de Chile.

**Constitución de la República de Cuba.** Cuba. 1976.

**Decreto No. 222, Reglamento de la Ley de Minas.** Gaceta Oficial de la República de Cuba. 19 de Septiembre de 1997.

Hutchison I. P., R. D. Ellison, (Editors), 1992 **Mine Waste Management**, California Mining Association, Lewis Publishers, Inc. 127-194p.

**Ley 76, Ley de Minas.** Gaceta Oficial de la República de Cuba. 21 diciembre de 1994.

**Ley 81, Ley de Medio Ambiente.** Gaceta Oficial de la República de Cuba. 11 de julio de 1997.

**Resolución 77/99.** Reglamento del Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental. Gaceta Oficial de la República de Cuba. 6 de Agosto de 1999.



## **EXPERIENCIAS DEL GRUPO DE ESTUDIOS DEL MEDIO AMBIENTE DEL MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR**

Lic. Myrna Pérez Pérez

COMERCIAL MERCADU S. A. Ciudad de La Habana Cuba. [myrnap@civil.cujae.edu.cu](mailto:myrnap@civil.cujae.edu.cu)

La legislación ambiental cubana establece la obligatoriedad de las Evaluaciones de Impacto Ambiental para el otorgamiento de las licencias ambientales de las obras. Si bien es cierto que esto resulta importante para todo tipo de proyecto aún lo es más para el sector del turismo ya que, conservar "la salud" e integridad del territorio es proteger todo aquello que atrae a los turistas y que garantiza su razón de ser. El Grupo de Estudios del Medio Ambiente del Ministerio de Educación Superior (GEMA-MES) se acreditó en el año 1996 ante el CITMA para la realización de todo tipo de Estudio de Impacto Ambiental. Se nutre de especialistas, laboratorios y recursos técnicos y administrativos en general de todas las Universidades del país. Presentaremos, en este trabajo el enfoque general y el alcance de los estudios que realiza, así como las experiencias adquiridas por la autora durante todos estos años como participe de este proceso. Se ejemplifican las consecuencias de no haber incorporado la dimensión ambiental en los planes de ordenación territorial y proyectos y se proponen medidas para el perfeccionamiento de los Estudios y Evaluaciones de Impacto Ambiental.





## SITIOS GEOLÓGICOS DE SANTIAGO DE CUBA OESTE (SIERRA MAESTRA)

**Juana Antia Luna Vazquez<sup>(1)</sup>, Maricela Ramírez Ala<sup>(2)</sup>, Angel Medina Batista<sup>(3)</sup> y Rafael Falero Salgado<sup>(4)</sup>.**

(1) (2) (3) *EMPRESA GEOMINERA DE ORIENTE, Carretera de Siboney Km 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Alturas de San Juan. Santiago de Cuba. Teléfono: (53-22) 641603, 643836. Fax: (53-22) 87130 E-mail :[aluna@geominera.co.cu](mailto:aluna@geominera.co.cu)*

(4) *OFICINA NACIONAL DE RECURSOS MINERALES Santiago de Cuba. Ave. Libertadores No. 426 Rpto. Fomento Telef: 640566, E-mail: [falerolab@geominera.co.cu](mailto:falerolab@geominera.co.cu)*

### RESUMEN

En el presente trabajo queremos poner de manifiesto el valor que representa el patrimonio geológico minero en la fase de la actividad geológica vinculada a los PIG (puntos de interés geológico) y su importancia en el aporte a la sostenibilidad ecológica, socialmente y culturalmente deseable y económicamente viable como motor del desarrollo de Santiago de Cuba.

El Patrimonio geológico minero al Oeste de la ciudad de Santiago de Cuba está enmarcado dentro de una zona de belleza natural inigualable al estar ubicado en el flanco sur de la Sierra Maestra y bañado por el Mar Caribe en toda su extensión, observándose algunos núcleos poblacionales como: El Cobre, Nima Nima, Buey Cabón, Chivirico, Uvero y a la vez todos ellos están vinculados a una historia de luchas por la independencia del país, por una viva cultura religiosa mestiza y un incipiente desarrollo turístico, que aún no enrumba bien un desarrollo acelerado.

Desde la ciudad de Santiago de Cuba hasta la desembocadura del río Palma Mocha por la costa Sur se corta la cordillera montañosa de la Sierra Maestra, quedando expuestos magníficos cortes de la Formación Manacal ( $K_2$  cp-m) las secuencias inferiores y media del Grupo El Cobre ( $P_1^1 - P_2^1$ ), los granitoides del macizo Nima Nima y Uvitas que contrastan con la irregularidad del litoral, provocando un característico y magnífico paisaje.

Por otro lado encallan en estas costas los restos de la flota del Almirante Cervera que indican hechos históricos de las batallas ocurridas en el siglo XIX durante la guerra hispano-cubana-norteamericana, y de la etapa de libertadora escenificada por el Ejército Rebelde al mando de nuestro Comandante en Jefe, así como restos de la actividad minera en la cantera de hierro El Cuero, donde aún se conservan taludes y bermas.

La actividad turística está representada por los Moteles Villa Turquino, Sierra Mar, Los Galeones y por las instalaciones hoteleras de Mar Verde, Caletón Blanco.

El conjunto de sitios geológicos, histórico, turístico y paisajístico hacen de este medio geológico un área de atractivos peculiares, que consideramos puede resultar un interesante recorrido.

### ABSTRACT

Presently work -wants to show the value that represents the patrimony geologic miner in the phase of the geologic activity linked the PIG (points of geologic interest) and its importance in the contribution to the ecological sostenibilidad, socially and culturally desirable and economically viable as motor of the development of Santiago from Cuba.

The geologic patrimony tries to get the preservation, conservation and protection of unique blooming, formations, structural deformations, minerals, rocks, fossils, etc of certain scientific value and exclusivity

This she/he extends from the city of Santiago from Cuba until the outlet of the river Blunt Palm for the South coast that cuts the Sierra Teacher's mountainous mountain range, being exposed magnificent courts of the Formación Manacal ( $K_2$  cp-m) the inferior sequences and The Copper mediates of the Group ( $P_{11}-P_{21}$ ), the granitoides of the solid Nima Nima and Grapes contrast with the irregularity of the coast, causing a characteristic and magnificent landscape.

On the other hand they beach in these costs the remains of Admiral Cervera's fleet that indicate historical facts of the battles happened in the XIX century during the Hispanic-Cuban-North American



war and of the stage of libertadora escenificada for the I Exercise Rebellious to our Commandant's control in Boss, as well as remains of the mining activity in the iron quarry The Leather, where banks and bermas are still conserved.

The tourist activity this represented by the Moteles Villa Turquino, Sierra Mar, the Galleons and for the hotel facilities of Green Sea, white Caletón.

The geologic, historical, tourist group of data and paisajístico make of this half geologic one an area of peculiar attractiveness.

## INTRODUCCIÓN.

Con el presente trabajo buscamos poner de manifiesto el valor que representa el patrimonio geológico minero en la fase de la actividad geológica vinculada a los PIG (puntos de interés geológico) y su importancia en el aporte a la sostenibilidad ecológica, socialmente y culturalmente deseable y económicamente viable como motor impulsor del desarrollo en la provincia de Santiago de Cuba, donde la actividad minera y geológica han presentado un desarrollo de varios siglos, con la presencia de la mina El Cobre una de las más antiguas en América, que se conoce desde el siglo XVI, propiciando el descubrimiento y explotación de minas de hierro y manganeso en el territorio .

El Patrimonio geológico minero al Oeste de la ciudad de Santiago de Cuba está enmarcado dentro de una zona de belleza natural inigualable, que se ubica en el flanco sur de la cadena montañosa que compone la Sierra Maestra con dirección este oeste y donde el Arco Volcánico Paleógeno tiene su mayor desarrollo, limitado por la costa del Mar Caribe.

## OBJETIVOS.

Reflejar todos los aspectos de interés geológicos y mineros que se enmarcan dentro de lo que denominaremos patrimonio geológico minero, término con el cual se define a toda manifestación geológica que viabilice la comprensión y el conocimiento que permite estudiar e interpretar la evolución histórica de la Tierra y explotar los recursos minerales.

El patrimonio geológico trata de conseguir la preservación, conservación y protección de afloramientos únicos, formaciones, deformaciones estructurales, minerales, rocas, fósiles, etc. de indudable valor científico y exclusividad.

El conjunto de datos geológicos, mineros, históricos, turísticos y paisajísticos hacen de este medio geológico minero, un área de atractivos peculiares, que consideramos puede resultar un interesante sendero.

## DISCUSIÓN y RESULTADOS.

El Patrimonio Geológico Minero (PGM), como parte del Patrimonio Histórico y Arqueológico de la nación no goza del mismo reconocimiento dentro de todos los técnicos, especialistas e investigadores vinculados a la geología y la minería. Esto trae como consecuencia que no siempre se actúa con el respeto que se merece, una instalación, equipamiento o sitio geológico, como herencia histórica legadas por nuestros antepasados o la naturaleza y que como tal, tenemos la obligación de preservarlos para el futuro, y es por este motivo que comenzamos a incursionar en este tema como vía para dar a conocer algunos de los legados que aún nos quedan.

El Arco Volcánico Paleógeno presenta una extensión aproximada de 250km, desde la bahía de Guantánamo al este, hasta Cabo Cruz al oeste, en ellas las secuencias volcánicas y



sedimentarias constituyen el miembro fundamental del perfil formacional, representado por el grupo El Cobre de edad Paleoceno- Eoceno Medio.

Desde la ciudad de Santiago de Cuba hasta la desembocadura del río Palma Mocha por la costa Sur se corta la cordillera montañosa de la Sierra Maestra, quedando expuestos magníficos cortes del Cretácico y del Paleógeno que contrastan con la irregularidad del litoral, observándose sitios mineros con canteras de principios del siglo XIX, sitios históricos de diferentes épocas, numerosos poblados y algunos centros turísticos, que provocan un característico y magnífico paisaje.

### Sitios Geológicos.

Las rocas del Arco Cretácico están representadas por las formaciones Palma Mocha de edad aptiano-turoniano y la Formación Manacal ( $K_2$  cp-m) de edad Campaniano-Maestrichtiano, las cuales alcanzan un espesor estimado de 3500 m. Estas son las rocas más antiguas en la Sierra Maestra presentando un desarrollo limitado, por lo que sus afloramientos tienen un alto valor geológico.

La Formación Manacal en la zona que presentamos aflora próximo al río Manacal donde encontramos areniscas tobáceas con fragmentos de plagioclasas sustituidos por sericitas, rocas efusivas andesíticas y ácidas.

El Arco Volcánico Paleógeno en esta porción de la Sierra Maestra se encuentra tipificado por las secuencias inferiores y media del Grupo El Cobre ( $P_1^1 - P_2^1$ ) paleoceno-eoceno medio con una potencia de hasta 6000m y más.

Por los cortes realizados en la construcción de la carretera se ven expuestos en estos taludes rocas piroclásticas gruesas de la secuencia inferior del Grupo El Cobre, cortadas por cuerpos subvolcanicos de composición media a ácida.

Se observan numerosos cortes como, los próximos al Río Cañizo con tobas lapílicas y aglomerados tobáceos de composición andesítica, de coloración verdosa a rojiza, el que presentamos en la foto (Fig.1) donde se muestran tobas ácidas de granos gruesos próximas a la playa Caletón Blanco.



Figura 1



Figura 2



A 1 Km. del poblado El Macío se presenta un cuerpo andesítico con un sistema de diaclasas columnares de color verdoso y otros, que provocan a los interesados por la naturaleza y la geología el interés a conocer datos de los mismos.

Los Granitoides del macizo Nima Nima y Uvitas cortan las rocas del Arco Volcánico Paleógeno, presentando un amplio desarrollo a lo largo de la costa, que contrasta con el paisaje.

Los Granitoides del macizo Nima Nima, se observan frente a la playa Buey Cabón y en el corte de la carretera hacia el caserío (Fig.2), donde se describen Dioritas cuarcíferas hornbléndicas con presencia de xenolitos de dioritas cuarcíferas melanocráticas, con estructura masiva y textura hipidiomórfica granular.

### **Núcleos Poblacionales.**

Se observan algunos núcleos poblacionales a lo largo de la costa como son: Aserradero, Buey Cabón, Nima Nima, Chivirico, Uvero, Cojimar, Cañizo y otros, que cuentan con toda una infraestructura que necesita de la explotación adecuada y ordenada de todos los recursos con que cuenta el territorio. A la vez todos ellos están vinculados a una historia de luchas por la independencia del país, sublevaciones de cimarrones, de esclavos mineros, con arraigada cultura religiosa mestiza y una amplio conocimiento de la actividad minera.

En la foto (Fig.3) mostramos la entrada del poblado de Aserradero donde observamos instalaciones de productos alimentarios, parque infantil y casas del poblado.



Figura 3

### **Sitios Mineros.**

En toda la región son numerosas las manifestaciones de sulfuros fundamentalmente de cobre, donde es usual encontrar galerías y socavones, que fueron en muchos construidos por pobladores, que al descubrirse la Mina de El Cobre, donde encontraban zonas con características similares (vetas de cuarzo con óxidos, zonas de oxidación, zonas con malaquita, zonas con sulfuros o con abundante piritización), se daban a la tarea de tratar de explotarla.

En toda la zona se revelan numerosos restos de la actividad minera, encontrándose cercano a la costa, las canteras El Cuero, Victoria, All Right y Old England donde fueron explotados skarns de hierro.

Las canteras para la explotación de hierro La Victoria, All Right y Old England, situadas en la finca Sevilla del barrio Aserradero se comenzaron a explotar en mayo de 1901, siendo un



rotundo fracaso pues la explotación y la exploración se ejecutaron de forma simultanea y resulto que realizaron inversiones millonarias en vías férreas, muelles, actividad minera, etc y solo pudieron extraer 39452 t de hierro en dos años de trabajo , quedando cerrada esta mina en septiembre de 1902.

En la cantera El Cuero fue explotado un yacimiento de skarns de hierro, exportándose en 1915 de este yacimiento 65 930 ton, observándose aún la cantera, taludes, bermas y las escombreras, que se pueden observar desde la carretera (Fig.4).



Figura 4

### Sitios Históricos.

En estas costas encallan los restos de la flota del Almirante Cervera (Fig.5) hundidos durante la guerra hispano-cubana-norteamericana en julio de 1898, que indican hechos históricos de las batallas ocurridas en el siglo XIX. Se observan también lugares y monumentos de la etapa libertadora donde el Ejército Rebelde al mando de nuestro Comandante en Jefe, tuvo uno de los escenarios principales que fue la Sierra Maestra, donde se desarrollaron intensos combates del Ejército Rebelde con las fuerzas del tirano Batista, siendo uno de los principales el monumento que se levanto en el poblado de Uvero como recordación a la importante batalla que libró el ejército rebelde contra la tiranía batistiana el 28 de Mayo de 1957.



Figura 5





## Sitios Turísticos.

La actividad turística está representada por los Moteles Villa Turquino (Fig. 6), Sierra Mar, Los Galeones y por las instalaciones hoteleras de Mar Verde y Caletón Blanco. A estas instalaciones turísticas de forma general corresponden pequeñas ensenadas consideradas playas, como Mar Verde, Buey Cabón, Caletón Blanco, Quiviján (Fig. 8), El Frances y otras. También se observa la Cueva (Fig. 7) próxima al caserío de Quiviján con pinturas rupestres realizadas por artistas de la región, en calizas del Cuaternario. La Carretera de la costa sur desde Santiago de Cuba a Uvero y hasta Pilon, presenta numerosos puentes a la orilla del mar, que de conjunto con las montañas de la Sierra Maestra, reflejan paisajes de una belleza peculiar.

Todo de conjunto con los paisajes que se observan por toda la carretera resulta de gran interés y agrado para el que viaje por la misma y hacen más atractiva esta zona para considerarla como sendero del patrimonio geológico minero.



Figura 6



Figura 7



Figura 8

## CONCLUSIONES.

Consideramos que el conjunto de datos geológicos, mineros, históricos, turísticos y paisajísticos hacen de este medio natural un área de atractivos peculiares que llaman la atención de todos los que transitan por esta carretera y puede resultar un interesante recorrido que podemos proponer como sendero geólogo minero.





## **BIBLIOGRAFÍA.**

Méndez, I, et al 1994. Atlas de Rocas de la Sierra Maestra. Empresa Geominera Oriente.  
Santiago de Cuba.

Aldana Martínez, Jorge. Azúcar, Minería: los primeros ferrocarriles en Cuba (1837-1937).



# DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL URBANO DE LA CIUDAD DE PINAR DEL RÍO

**Nancy Machin Rodríguez(1) Julio Cabrera Bermúdez (2)**

*Delegación Territorial CITMA, Pinar del Río. Dpto Geología Universidad Pinar del Río*

## RESUMEN

El Diagnóstico Ambiental urbano es más que un inventario de problemas ambientales, porque no solo implica la compilación de datos y la cartografía de las características naturales, sociales y la infraestructura económica, sino también la definición de sus potenciales y debilidades para permitir una calidad de vida óptima. Para realizar el diagnóstico geoambiental de la ciudad de Pinar del Río e identificar los problemas de uso eficiente del geoecosistema urbano, se utilizaron los criterios relacionados con la temática citados en la literatura nacional e internacional más reciente, auxiliándonos de la información base disponible y la obtenida en los trabajos de campo. El resultado del diagnóstico permitió definir los principales problemas ambientales. El trabajo debe convertirse en una herramienta concreta y eficaz en el ordenamiento territorial, en los procesos de gestión y capacitación ambiental, para lograr una gestión ambiental sostenible.

## ABSTRACT

The urban Environmental Diagnosis is more than an environmental, because not alone inventory of problems implies the compilation of data and the cartography of the natural, social characteristics and the economic infrastructure, but also the definition of its potentials and weaknesses to allow a quality of good life. To carry out the environmental diagnosis of the city of Pinar del Río and to identify the problems of efficient use of the urban geoecosistema, the approaches related with the thematic one were used mentioned in the most recent national and international literature, aiding us of the information bases available and the one obtained in the field works. The result of the diagnosis will be the base of the proposal of Environmental Ordination for the study area. The work should become a concrete and effective tool in the territorial classification, in the administration processes and environmental training, to achieve a sustainable environmental administration

## INTRODUCCIÓN

Este siglo XX ha sido testigo de un incremento demográfico de la población urbana en el mundo, que alcanza cifras de un 80% por encima del 30% de la población rural. En ningún momento de la historia se concentró tal volumen de tanto en tan poco espacio. Esta tendencia mundial tiene su reflejo en Cuba (76% de urbanización), a partir de los proyectos de desarrollo socioeconómico emprendidos por el Gobierno Revolucionario tendientes a eliminar los barrios marginales y crear barrios residenciales que potencien una mejor calidad de vida del sector obrero; así el Reparto "Hermanos Cruz" comienza su auge constructivo a partir de 1972, con la creación del movimiento de microbrigadas y se convierte en un ejemplo típico del crecimiento urbano en la provincia de Pinar del Río.

El Consejo Popular, como instancia gubernamental municipal creada en 1992 y "embrión del autogobierno popular en un proyecto socialista y como importante vía para avanzar en el perfeccionamiento del Estado cubano"( Coyula, 1997), tiene el desafío de rehabilitar la capacidad estético-escénica y la calidad ambiental del paisaje urbano, con parámetros de eficiencia ambiental. Para lograr esta recuperación establecer prioridades es decisivo. En primer lugar, aumentar la capacidad de gestión de las instituciones gubernamentales y organizaciones sociales en la implementación de las ideas de mejoramiento ambiental, la utilización eficiente de los recursos naturales de que se dispone, la aplicación correcta de las legislaciones, y la participación de los centros educacionales en la capacitación y concientización de la población residente.

De tal manera el objetivo general del trabajo es caracterizar y diagnosticar ambientalmente la comunidad, para identificar las capacidades geoecológicas potenciales, el nivel de eficiencia con que



se utilizan los recursos naturales, sociales y construidos y sugerir ideas para rehabilitar ambientalmente el paisaje urbano.

La diagnóstico geoambiental urbano se basa en el estudio y análisis del geoecosistema, los que se consideran como sistemas ambientales formados por la combinación entre los ecosistemas (sistema de relación organismo-entorno) y geosistemas (interacción de todos los componentes naturales con una visión espacio-céntrica) (Mateo, 1997), así en el análisis geoecosistémico se analiza la relación de las actuaciones humanas (espacios construidos), con la combinación en un espacio de todos los componentes naturales. El diagnóstico geoambiental urbano implica identificar la efectividad con que se explotan los geoecosistemas, el grado de utilización de su potencial y el estado de conflictos presentes que se traducen en problemas ambientales y el nivel de deterioro de los recursos naturales que lo identifican.

En el trabajo se presta una especial atención a los sistemas socioambientales de tipo urbano, como proceso de intercambio entre la base natural, la sociedad allí existente y la infraestructura construida. Determinando la dinámica socioespacial que se concretiza en cada una de las instancias del ambiente urbano, produciendo problemas ambientales y el deterioro de la calidad de vida de sus pobladores.

## **CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La ciudad de Pinar del Río está situada en las márgenes del río Guamá, su fundación data de 1626, el 27 de julio de 1859 se le concede el título de villa y se crea el cabildo, finalmente el 10 de septiembre de 1867 se reconoce como ciudad. Anterior a 1952 el área que abarca la comunidad "Hermanos Cruz" estaba ocupada por tres fincas dedicadas al ganado y cultivo de tabaco, macizos boscosos (al norte, centro y suroeste), dos lagunas (actual área festiva y parcela de cultivos al noreste del vial Colón) y un arroyo (al suroeste del mencionado vial). La zona urbana del noreste del río aparece a partir de 1953 con solo tres viviendas y se nombró "Ciudad Nueva" (periódico Vocero Occidental, marzo de 1957), en 1959 existían cuatro calles al norte, a esto continuaron las construidas por el Instituto Nacional de Ahorro y Vivienda (INAV) conocidas como "casas de Pastorita", edificadas en los inicios de la década del 60. El auge constructivo que expande la ciudad hacia esta zona se produce en 1972 con la creación del movimiento de microbrigadas, con el objetivo de construir un área residencial en medio de una ciudad en pleno desarrollo socio-económico. A partir de 1974 recibe el nombre de Reparto "Hermanos Cruz", abarca un área aproximada de 4.9Km, a sólo dos kilómetros del núcleo central de la ciudad.

### **Condiciones físico geográficas.**

El área estudiada está constituida desde el punto de vista geológico por formaciones recientes y sin eventos tectónicos claramente definidos, en correspondencia con la zona de la llanura sur de Pinar del Río a la que pertenece. (Pszczolkowski, et al., 1987).

Su basamento está constituido por la formación "Paso Real" de edad Miocénica, constituida por calizas organógenas y margosas. Encima se encuentran sedimentos más recientes plio-pleistocénicos producto del arrastre del río desde las zonas altas de las pizarras del sur constituidas por formación San Cayetano del Jurásico Inferior y Medio, y depositados en el área, constituidos litológicamente por arcillas y arenas, los cuales producto a la lixiviación presenta en su parte inferior una capa arcillosa, dura e impermeable, con características de corteza de interperismo.

La formación "Paso Real" actualmente fosiliza las manifestaciones cársicas por debajo de la capa de arcilla margosas que impermeabilizan el basamento. En ciertos lugares donde la capa arcillosa impermeable es delgada, el funcionamiento del carso se manifiesta, lo que unido a procesos de sufosión en el manto confinado, hace que se produzcan depresiones que estuvieron ocupadas por lagunas.

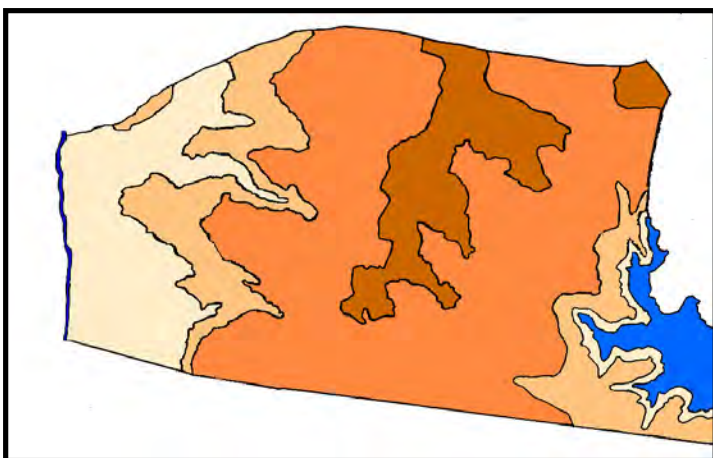
La comunidad está situada en la llanura sur de Pinar del Río, presentando una diferenciación marcada en el relieve debida a la actividad fluvial, que se expresa en los tipos e individuos geomorfológicos que influyen de manera significativa en las condiciones de vida urbana, a través del



grado de complicación del fundamento constructivo y un factor determinante en las condiciones ambientales del hábitat.

Atendiendo a la formación y elaboración del relieve llevada a cabo por el río, como agente principal, se evidencia una diferenciación geomorfológica que se manifiesta mediante la existencia de cuatro categorías de **Unidades Geomorfológicas**.

- **Plano de inundación**, constituye las superficies de acumulación actual de los depósitos del río. Ocupa un área relativamente ancha en el orden del río Guamá. Un área ancha en los bordes del río Paso Viejo, actualmente inundado por la micropresa. Su altura relativa es de 40 metros. En ocasiones las lluvias estacionalmente intensas se inunda. Las pendientes que predominan son de  $1^{\circ}$  a  $3^{\circ}$ , lo que les define un carácter muy ligeramente inclinado.
- **Terrazas bajas**, constituidas por superficies situadas a 43 metros de altura relativa y pendientes de un grado, lo que resulta un área relativamente plana. Se sitúa de manera general en fajas cercanas al plano de inundación del río, ocupando áreas reducidas. En ocasiones de aguaceros intensos se inundan, incluye generalmente de uno a dos niveles de terrazas.
- **Terrazas medias**, constituyen superficies situadas a 53 metros de altura relativa. Las pendientes son de  $1^{\circ}$  a  $3^{\circ}$ , relativamente planas. Ocupando las vertientes o partes inclinadas del nivel principal, ocupado por las terrazas altas. Según registros históricos no se inundan, aunque aparecen muy diseminadas y cercanas a las terrazas bajas, pequeñas lagunas ocasionales, que responden a la composición geológica y al drenaje deficiente.
- **Terrazas altas**, constituyen la línea de base principal del relieve, es decir la superficie original más antigua que corresponde al territorio estudiado. De forma general no tiene casi inclinación, con pendientes muy suaves. Su altura relativa es de 55 metros. Nunca son inundadas por la acción del río.



Escala 1:25 000

Los tipos de unidades geomorfológicas tienen un carácter genético, son repetibles en toda el área de estudio y en general en gran parte de la llanura del sur de pinar del Río en posiciones similares. Las unidades geomorfológicas individuales tienen por el contrario un carácter único e irrepetible. Se forman más bien por la combinación de los tipos de unidades geomorfológicas y responden a factores posicionales (la posición de restos en el proceso erosivo que puede ser de cima o cercano al río), tectónico, litogénico, etc.

Se distinguen para el territorio estudiado cuatro unidades geomorfológicas individuales:

- **Área del Río**, ocupa toda el área situada en el sur del territorio, bajo la acción directa del río. Está formado principalmente por una combinación en partes iguales de plano de inundación (dominante relativo), terrazas medias (segundo dominante). Predominan las pendientes de menos



de un grado ocupando un 50% del área, tienen un papel destacado las pendientes de uno a tres grados con un 30% y sólo un 10% las pendientes de siete a quince grados.

- **Área de la presa**, constituye el área situada en las cercanías de la presa. Se encuentra en uno de los afluentes del oeste del río Paso Viejo. Está fuertemente diseccionada, indicando valores de disección horizontal de 100-200 metros. Se caracteriza por una combinación compleja, como un mosaico de todos los tipos de unidades geomorfológicas, aunque dominan las terrazas medias (aproximadamente en un 35%) y las terrazas bajas (en un 30%). De manera análoga, se presenta una compleja combinación de valores de pendientes, con predominio de las de uno y uno a tres grados.

- **Área alta**, abarca la parte alta al este del territorio estudiado. Forma un nivel de cima alto muy claro, pero relativamente plano. Su estructura es muy simple, formada por terrazas medias en un 55% y terrazas altas en un 45%. Predominan en un 40% las pendientes de un grado. Son características para las laderas pendientes de uno a tres y de tres a siete grado.

La actividad fluvial en el territorio está representada por los ríos Guamá al noroeste y Paso Viejo al noreste. El basamento geológico presente en el área, condiciona un drenaje freático libre desde las cimas de las terrazas altas, a modo de divisoria hacia ambos ríos. El río Guamá en todo su recorrido por la ciudad sufre diferentes tipos de contaminación, debidas a las actividades ovina y porcina en el noroeste del área, así como, el desagüe de todo tipo de desechos domésticos y de centros de servicios ubicados en la comunidad, a través de un canal que fluye por la porción norte de la zona urbana analizada, incorporando considerables volúmenes de aguas negras. El grado de contaminación alcanzada por el río en la zona urbana ha llegado a un punto en el que sus aguas no son aptas para el consumo directo de la población, ni para uso doméstico o regadío agrícola.

Las características climáticas del área definen un comportamiento térmico sin grandes variaciones estacionales y espaciales, resultado de la homogeneidad de alturas entre 35 y 60 metros. El mes más frío es enero, con temperaturas medias de 21,07°C en un período de 20 años (1978-1997). El mes más cálido julio con una media de 26,8°C.

Las precipitaciones alcanzan valores medios anuales inferiores a 126,8 mm. Se aprecia, cada 7-8 años uno período perhúmedo o hiperhúmedo. El comportamiento de las temperaturas y las precipitaciones en el área determinan un clima Tropical cálido con un período húmedo. Para ello se utilizó el método de Gaussen (modificado), el diagrama propuesto por Walter y Lieth donde se utiliza la proporción 1:4 (de Novo y Luis, 1992) que constituye la fórmula más apropiada a aplicar en climas tropicales insulares e ístmico.

Del análisis del diagrama se infiere un clima cálido todo el año, cuyas temperaturas medias se mantienen por encima de los 20° C y con un período perhúmedo de la tercera decena de mayo a la tercera decena de junio, incluido septiembre, dentro del húmedo continuo de abril a octubre y un período seco bien definido de mediados de noviembre a abril.

La humedad relativa presenta poca variación mensual y anual, en estrecha correspondencia con el comportamiento térmico con un mínimo en el mes de abril y un máximo en el de septiembre, debido a la influencia de las lluvias en dicho comportamiento.

El análisis del mapa de suelos 1:25 000 y el reconocimiento de campo posterior, permitió plantear la existencia de dos tipos de suelos:

- Aluvial, formado por los aluvios que el río arrastra desde las zonas altas y deposita en el plano de inundación de textura areno-arcillosa. Se extiende en una faja estrecha que abarca el plano de inundación y el límite entre este y las terrazas bajas. Tiene una alta fertilidad natural, pero con posibilidades frecuentes de inundaciones.
- Ferralítico cuarcítico amarillo, ocupa predominantemente el resto del área. Está formado por dos capas bien definidas, una superficial arenosa y una subyacente arcillosa. La capa arcillosa la forman materiales iluvio-deluviales, provocada por la lixiviación en la capa superior.

En su mayor parte la vegetación autóctona estuvo representada por pinos (**Pinus caribaea**, **Pinus cubensi**, **Quercus oleoides**, **Sipaguaeana**, etc.), mientras que en las márgenes del río por su





fertilidad natural existió bosque semideciduo mesófilo y en las lagunas vegetación acuática. El asentamiento de la población en las márgenes del río, provocó la paulatina desaparición de este bosque y su sustitución por: áreas de cultivos menores, parches de matorrales constituidos por aroma weyler (**Mimosa pigra**) en la periferia de la comunidad, orillas de caminos y carreteras, y pequeños macizos de bosque de Eucaliptus sp. y Majagua ( **Hibiscus elatos** ).

### Condiciones socioeconómicas

Se aprecia un crecimiento constante de la población, el período de mayor tasa de crecimiento corresponde a 1980-1990, asociado al auge constructivo experimentado en estos años. A partir de 1990 se observa un desaceleramiento en el crecimiento poblacional, que responde a la situación económica del país a la que no escapa la construcción de viviendas.

Las características habitacionales de esta comunidad imponen una densidad de población muy alta (4 366,3 hab/Km<sup>2</sup>); internamente la distribución de la población experimenta desigualdades por circunscripciones, la más alta corresponde a barrios de gran concentración de edificios múltiples, mientras la periferia y el núcleo más antiguo ofrecen valores inferiores al 50% del indicador en el área. Es conveniente especificar la tendencia general al crecimiento vertical, con un promedio habitacional de cuatro pisos.

El análisis de la pirámide de edades muestra una inversión muy similar a ciudades de alto desarrollo socioeconómico, con una disminución notable de la población infantil (menores de cinco años), a diferencia de la población senil que tiende al aumento de manera continua. Lo anterior nos confirma que esta población ha iniciado un proceso de envejecimiento sobre el cual influyen, de manera decisiva, los niveles de fecundidad (con tendencia al descenso, natalidad 12,0%) y en menor medida los bajos niveles de mortalidad (mortalidad infantil 17,8 y una esperanza de vida al nacer 75-76 años). Muestra también una explosión demográfica en las edades de 20-59 años y a la que se asocia una población económicamente activa considerable. Esto provoca un movimiento pendular desproporcional de la fuerza de trabajo, ya que por el carácter residencial de esta comunidad no existe una infraestructura económica y de servicios que respalde las grandes necesidades laborales de la población.

La familia es el núcleo básico y principal de organización de la sociedad y reflejo del nivel socioeconómico alcanzado por los pobladores de esta comunidad. Residen en ella 5.584 familias, apreciándose una tendencia a la formación de familias nucleares, en las cuales el número de hijos promedio es dos. La distribución del tipo de familia a diferencia de otros indicadores resulta uniforme y muy proporcional en toda la comunidad. La composición por sexo es prácticamente uniforme, el 50,9% de la población es masculina y el 49,1% es femenina. La población femenina se caracteriza por estar el 62% en edad laboral y de ella el 68,74% se considera económicamente activa, este es otro indicador que influye en la morfología de la pirámide de edades.

### Situación de los servicios comunitarios

Esta es una comunidad en franca expansión a partir del vial Colón, centro del área de urbanización hacia el sur-suroeste, donde se localizan en la actualidad las parcelas en construcción. La red de agua potable abastece toda la comunidad directamente o mediante cisternas conectadas a la red en el caso de los edificios múltiples, esto hace que el 9,2% se sirvan de cisternas individuales y un 90,8% directamente de la red. Existe una red de alcantarillado que ofrece servicios a toda la comunidad y permite evacuar los residuales líquidos domésticos y de los centros de trabajo. Sólo una pequeña cantidad de viviendas 0,46% del total que reside en la comunidad se vale de fosas sépticas. En el norte del área se localiza un canal de desagüe de aguas albañales, domésticas y de centros laborales a cielo abierto que provoca la contaminación del aire con olores indeseables, la proliferación de vectores y el aumento de la contaminación del río Guamá, donde desemboca. Existe red de alcantarillado pluvial, aunque en determinadas zonas el cauce es inferior al caudal de la corriente en época de lluvias torrenciales, provocando una acumulación de estas





El servicio de recogida de basura en la comunidad cuenta con 122 depósitos construidos por los servicios comunales, para la deposición de los desechos sólidos generados por la población y los centros de trabajo. Los depósitos oficiales están construidos, 11 de ellos no se conservan de manera adecuada y se presentan en las categorías media y baja, al no poseer tanques con tapa tan necesarios en las condiciones climáticas nuestras. Los de centros de trabajo presentan mejores condiciones, bien construidos y conservados, pero sin los contenedores adecuados.

La comunidad cuenta con una red de servicios de salud amplia ( Hospitales 2, Policlínicas 1, Centro de ambulancia 1, Farmacias 3, Consultorios 54). Esto hace que la población no tenga que recurrir a otros lugares para recibir los servicios clínicos y sea atendidos por el médico de la familia, en 35 consultorios con 58 médicos de la familia residentes en el área, 5 consultorios en los círculos infantiles con 166 médicos y enfermeras, 10 consultorios en centros docentes y 4 en centros de trabajo dentro de la comunidad. Los resultados de esta atención derivan en un 44,1% de población sana, un 19,0% no presenta enfermedad alguna pero tiene riesgos de contraer alguna, un 31,9% de enfermos y un 1,0% con secuelas de alguna enfermedad

La comunidad cuenta con 14 centros educacionales: cinco círculos infantiles, tres escuelas de nivel primario (5-11 años), dos secundarias básicas urbanas (12-14 años), el Instituto Preuniversitario de Ciencias Exactas (IPVEC), una facultad obrera y dos centros de educación superior, el Instituto Superior Pedagógico (I.S.P.) y la facultad de Ciencias Médicas. El nivel instructivo de la población residente en la comunidad el 25,80% en el nivel de secundaria básica y una tendencia al aumento de los graduados universitarios y técnicos medio.

La población residente tiene para la satisfacción de sus necesidades básicas (alimentación, vestuario y comunicación) un total de 27 centros, de ellos 21 son para la venta de alimentos normados, dos tienda ,dos telecorreos, una unidad bancaria, un agromercado, tres cafeterías, una lavandería y varias unidades de barbería y peluquería (3), así como siete contenedores de las TRD. Considerando las normas vigentes 60 metros cuadrados de área de venta por cada 1000 habitantes, actualmente se satisface sólo el 48% de la población residente lo que origina un flujo pendular hacia el centro comercial de la ciudad, en busca de mayores opciones de venta. Similar situación se registra con la unidad bancaria teniendo en cuenta el crecimiento cada vez mayor del número de jubilados. No existen servicios funerarios internos. La ubicación concentrada en un extremo de la comunidad de estos servicios, de manera general, provoca que el 57% no efectúe sus compras en los límites de la zona donde reside. Un problema es la escasez de centros recreativos. No existe un cine (sólo una sala de video pequeña), tres cafeterías ( dedicadas en general al expendio de bebidas y cigarros), una hamburguesería y cuatro áreas festivas (dos de acceso libre, el resto son de organismos); esto crea un éxodo en especial de la población joven hacia la ciudad que los fines de semana agrava la situación actual del transporte de pasajeros.

Los centros industriales aparecen situados en la periferia, 14 corresponden a pequeñas industrias ( 3 talleres de reparación, 10 talleres de uso variado y una biofábrica) y cuatro a medianas industrias (3 fábricas de alimentos y una de componentes electrónicos). Sin embargo, esto no satisface las necesidades de puestos de trabajo de la población, al no ser receptoras mayoritarias de obreros desde esta comunidad.

La realización de un detallado trabajo de campo indica una diferencia marcada en la presencia de vegetación actual entre las distintas zonas del área estudiada, generado por un desarrollo constructivo en épocas diferentes, predominando como factor motivacional del crecimiento urbano, la necesidad de vivienda por encima del geoecológico.

El territorio estudiado comprende 22 unidades ambientales, a partir del análisis de las cuatro unidades geoecológicas y del espacio construido en relación con las unidades socio-políticas. Cada una de ellas es el resultado de la interacción de los componentes naturales (geólogo-geomorfológicos, hidroclimática, suelo y vegetación) y socioeconómico (población, vivienda, infraestructura socioeconómica y áreas naturales y verdes). La diferenciación se manifiesta por las relaciones de interdependencia entre las condiciones naturales y la urbanización acelerada y con débil planificación geoecológica.



Lo anterior expuesto permite plantear una capacidad de uso potencial en dicotomía con el uso actual en 16 unidades ambientales que representa el 72,7 % y sólo un 27,3 % de uso adecuado (ver ampliado en la Tabla 10), implicando un número considerable de unidades en conflicto que se traduce en la manifestación de todo un conjunto de problemas ambientales.

## DIAGNÓSTICO GEOAMBIENTAL

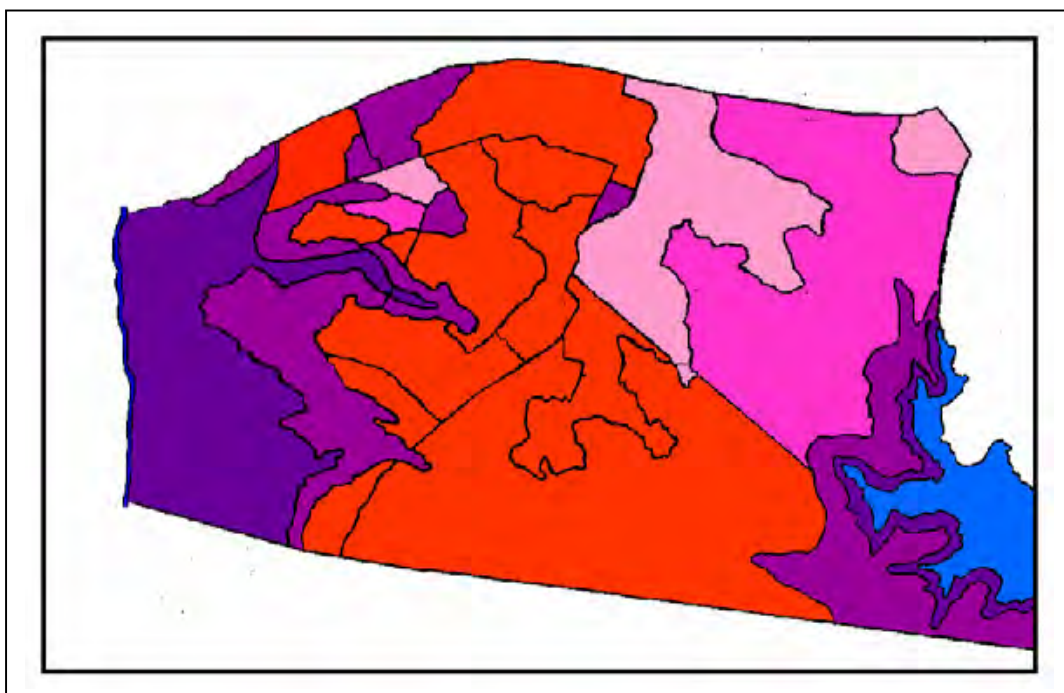
Los problemas ambientales surgen cuando se alteran los elementos o situaciones de un lugar de manera que atentan contra la calidad o cantidad o diversidad de los recursos humanos, de los recursos naturales y del medio construido (Yunén, 1995), de tal forma influyen en la calidad de vida de sus pobladores. **Problemas comunes.** En el territorio se manifiesta una serie de procesos y factores que alteran, dificultan o impiden un uso vocacional del medio ambiente, resultado de la interacción entre lo social, lo natural y lo construido.

- Pérdida de biodiversidad.
- Deterioro de las áreas verdes.
- Deterioro de la cobertura de suelo.
- Inundaciones.
- Contaminación de las aguas del río Guamá.
- Deficiente deposición de la basura.
- Deterioro en la calidad estético-escénica del paisaje urbano.

A la tipificación de los problemas ambientales por unidades se llega luego de determinar los impactos o modificaciones ocurridos en el medio urbano. Después de analizado el estado actual de las unidades ambientales del territorio estudiado, se aborda una valoración de los problemas que afectan el medio ambiente de la comunidad y que expresan el equilibrio entre el medio físico-natural y las actuaciones humanas sobre éste. De acuerdo a esto se clasifica de la siguiente manera.

- **Unidades estables**, aquellas en que los parámetros ambientales alcanzan valores inferiores a cinco, lo que indican un escaso o inapreciable deterioro de estos y actuaciones humanas integradas o inapreciables al medio natural.
- **Unidades medianamente estables**, son las que muestran valores de seis a once en los parámetros ambientales y son indicativos de actuaciones humanas medianamente integradas, frecuentes o dispersas al medio natural.
- **Unidades inestables**, en las que los valores de diagnóstico ambiental oscilan entre doce y diecisiete, siendo el resultado de actuaciones escasamente integradas, aisladas, pero con cierta relevancia.
- **Unidades críticas**, son aquellas en las que los valores de dieciocho a veintitrés son indicativos de actuaciones humanas abundantes pero escasamente integradas, aisladas y de gran incidencia en el paisaje urbano.
- **Unidades muy críticas**, son las que exigen un rápido tratamiento, con valores por encima de 23 indican actuaciones no integradas que afectan a toda la comunidad.

Del análisis anterior concluimos que existen dos unidades ambientales estables para un 9,1%, pero que muestran una tendencia al desequilibrio físico- natural y socioeconómico. Las medianamente estables resultan tres para el 13,6% del total, inestable se comportan 10 que representan el 45,5% y crítico y muy crítico 7 para el 31,8%. La intensidad de los problemas medio ambientales que se manifiestan actualmente en la comunidad, son la base de las medidas de conservación y aprovechamiento del medio urbano, para garantizar una calidad de vida adecuada y la satisfacción de las necesidades de la población.



Esc 1:25 000

Los principales problemas ambientales se han visto agravados por la falta de conciencia y educación ambiental en considerables sectores de la población. Ello no se ha correspondido con los avances logrados por la Revolución; de ahí que revertir esa situación constituya un objetivo esencial de trabajo a corto y mediano plazo. ( Borges, 1997).

## CONCLUSIONES

El territorio del Reparto "Hermanos Cruz" se encuentra al noreste del Río Guamá, formando parte de la llanura sur-occidental de Pinar del Río, de origen acumulativo tropical, ligeramente inclinada, estacionalmente húmeda, formada por suelos ferralítico cuarcítico amarillo y aluviales. Cubiertos originalmente por bosques aciculifolios y semidecíduos mesófilos en las márgenes del río. Atendiendo a la formación y elaboración del relieve llevada a cabo por la actividad fluvial, como agente principal, se distinguieron cuatro categorías de unidades geomorfológicas.

En la comunidad residen 21 151 habitantes con una tendencia general al crecimiento habitacional vertical, imponiendo una densidad poblacional muy elevada, a la vez que muestra una tendencia al envejecimiento y una explosión demográfica en la edad laboral. Desde sus inicios tiene carácter residencial complementario, lo que trajo consigo un bajo índice de infraestructura de servicios básicos, culturales y recreativos.

La interacción entre el sistema de unidades geoecológicas y socioeconómicas, definen para el territorio 22 unidades ambientales (geosistemas) que se diferencian entre sí por la interdependencia entre las condiciones naturales y el nivel de las actuaciones humanas, en el medio de una urbanización acelerada y débilmente planificada geoecológicamente.

Las potencialidades del territorio de acuerdo al grado de inclinación topográfica, permiten sustentar un área residencial en las terrazas medias y altas y un uso agrícola y recreativo (parques y jardines) en las zonas bajas. La dicotomía entre el potencial y el uso actual indiscriminado, es causa de conflictos ambientales en más del 50% de las unidades ambientales.



Para resolver estos, es necesario implementar una serie de medidas de mejoramiento ambiental, priorizando las unidades más críticas y aquellas que sustentan el equilibrio ambiental de la comunidad; lo que es posible alcanzar con un uso eficiente de los recursos naturales, la aplicación correcta de las legislaciones y la participación consciente de la población, las organizaciones sociales y entidades gubernamentales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Borja, J. (1988); Pasado, Presente y Futuro de los Gobiernos Locales en América
- Borges, T.; Díaz, C. (1997): Cuba, política ambiental a tono con los nuevos tiempos. Revista TEMAS No 9. Cali, Colombia. 13-19p.
- Bttini, V. (1998): Elementos de Ecología Urbana. Ediciones trota. Madrid, España. 213p.
- Bwon, L.R. ; Sachs, A. (1996): La situación del mundo(derechos humanos y Justicia ecológica). Informe anual del Worldwatch Institute sobre medio Ambiente y desarrollo. Icaria. Barcelona, España. 269p.
- Campo, A. (1998): gerencia ambiental e integración subregional. Revista Tablero No 58. Bogotá, Colombia. 47-48p.
- Castellano, M. (1996): Economía y medio Ambiente; enfoques, reflexiones y experiencias actuales. La Habana. Academia. 82p.
- Coyula, M. (1997): Ambiente urbano y participación en un socialismo sustentable. Revista TEMAS, No 9. Cali, Colombia. 54-61p.
- Chapela, F. (1996): Ordenamiento del territorio: una agenda de trabajo. Red de Gestión de Recursos Naturales. México(3). 5-7p.
- FAO. (1992): desarrollo sostenible y medio ambiente. Política y acción de la FAO. Estocolmo 1992- Río 1992. Roma, Italia. 68-70p.
- Girardet, H. (1992): ciudades, alternativas para una vida urbana sostenible. Celestes Ediciones. Madrid, España.
- Gómez, O.D. (1994): Ordenamiento del territorio: una aproximación desde el medio físico. Editorial agrícola. Madrid, España. 238p.
- Leff, E. (1998): Saber Ambiental: sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder. PNUMA. Ed. Siglo XXI s.a. de C. De Madrid, España. 275p.
- Martínez, C.E. (1994): recursos naturales, biodiversidad, conservación y uso sustentable. Multequina (Mendoza) (3). 11-18p.
- Mateo, J. (1997): conferencia de desarrollo sustentable y ordenamiento territorial. La Habana. Universidad de la Habana. /s.p./
- MOPU.(1990): Desarrollo y medio ambiente en América Latina y el Caribe. Una visión evolutiva. Madrid, España. 231p.
- Novo, M. (1995)El análisis de los problemas ambientales: modelos y metodologías. Master en educación ambiental. Madrid. Universidad a distancia. 66p.
- Sosa, n. (1995): Perspectiva ética. Master en Educación Ambiental. Madrid, Universidad Nacional de Educación a distancia. 67p.
- Pecsi, R. (1995): Desarrollo sostenible: territorio y ciudad. Master en Educación Ambiental. Madrid, Universidad Nacional a distancia. 142p.
- Pellicer, F. (1997): El medio ambiente urbano: interfase naturaleza y cultura. XV Congreso de geógrafos Españoles (memorias). Santiago de Compostela. 43p.
- Terry, C. (1997): Impacto ambiental: primeras experiencias en Cuba. Revista TEMAS, No 9. Cali, Colombia. 42-47p.
- Tibaijuka, A. ( 2001): El siglo de las ciudades. Revista nuestro Planeta. PNUMA. Tomo 12



## APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE BIORREMEDIACIÓN A CORTES DE PERFORACIÓN

**MSc José Alfonso Álvarez González, Ing. Eloy Companioni Damas, Téc. Gisela Novoa Rodríguez, MSc. Ana Núñez Clemente, Dr. Miguel A. Díaz Díaz, Lic. Sandra Miller Palmer, Tec. Cristina Laffita Rivera.**

*Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington # 169, Cerro. Ciudad de la Habana. Teléfonos: 57 - 7301, 57 - 7329. Fax: 642 -6021, E - mail: alfonso@ceinpet.cupet.cu.*

### RESUMEN.

A solicitud de la compañía REPSOL YPF con vistas a ofrecer una disposición ambiental segura a los residuos de perforación (cortes y lodos) que se generarían en la perforación OFF SHORE de pozos de petróleo en la Zona Económica Exclusiva de Cuba se les aplicó la tecnología de la Biorremediación para el tratamiento de estos residuos por un período de 120 días, para esto se prepararon composteros en recipientes plásticos redondos con un diámetro de 40 cm. y altura de 12 cm., utilizando para ello una mezcla de cortes de perforación y suelo limpio al 10 % de hidrocarburos totales del petróleo, fertilizantes, agua y distintos tipos de materiales acondicionantes como bagazo o aserrín.

Para el seguimiento de las variantes de Biorremediación se analizaron los siguientes parámetros físicos – químicos y microbiológicos: grasas y aceites, hidrocarburos totales del petróleo, producción de CO<sub>2</sub> y conteo de microorganismos totales todos con frecuencia mensual durante todo el tiempo del tratamiento.

En todas las muestras estudiadas se obtuvo una tasa de biodegradación de alrededor de 50 - 65% en 120 días. La concentración de microorganismos se mantuvo en todos los casos entre 10<sup>5</sup> y 10<sup>8</sup> UFC/ g suelo.

Se concluye que la técnica de Biorremediación resulta apropiada para el tratamiento y/o disposición final para los cortes de perforación. Se comprueba además, que la adición de materiales acondicionantes no resultó determinante para la biodegradación los cortes de perforación.

**Palabras Claves:** cortes de perforación, tratamiento, Biorremediación

### INTRODUCCIÓN.

Dentro de las prioridades ambientales de la industria petrolera, en lo referido a las operaciones de perforación y extracción de este recurso, se encuentra el establecimiento y ejecución de actividades de monitoreo, que como parte de las regulaciones ambientales del sector (1), deben realizarse a los residuales generados.

Las técnicas de tratamiento consisten en la aplicación de procesos químicos, biológicos o físicos a desechos peligrosos o materiales contaminados a fin de cambiar su estado en forma permanente. Estas técnicas destruyen contaminantes o los modifican a fin de que dejen de ser peligrosos, además pueden reducir la cantidad del material contaminado presente en un lugar, retirar el componente de los desechos que los hace peligrosos o inmovilizar el contaminante en los desechos (2).

Las tecnologías de restauración se clasifican en dos grandes grupos que se pueden apreciar en la siguiente tabla:





Tabla 1. Listado de técnicas tradicionales e innovadoras

<b>Técnicas tradicionales o establecidas</b>	<b>Técnicas innovadoras</b>
Incineración	Extracción de vapores del suelo
Mezclar, enterrar y cubrir	Aspersión de aire
Dispersión sobre el terreno	Biorremediación
Solidificación	Desorción térmica
Reuso y Reciclado	Lavado del suelo
	Deshalogenación química
	Enjuague del suelo in situ
	Extracción con solventes

Las técnicas tradicionales o establecidas fueron desarrolladas antes de 1980 y se han probado que son efectivas y de uso común a escala de campo. Sin embargo para 1990 el 40 % de las técnicas de tratamiento que se estaban usando eran innovadoras. En 1994 esa cifra llegó casi al 60 %.

Las técnicas innovadoras han sido propuestas mas recientemente y se pueden encontrar en diferentes etapas de desarrollo:

- Etapa de concepto (idea, investigación, pruebas de laboratorio)
- Tecnología incipiente (prueba a escala reducida)
- Tecnología utilizable (estudio piloto, estudio de demostración, uso limitado a gran escala)

Entre las ventajas que se pueden mencionar con respecto al uso de las técnicas innovadoras se encuentran las siguientes:

1. Ofrecen soluciones a largo plazo y eficaces en función del costo para los problemas de la limpieza de desechos peligrosos.
2. Presentan alternativas frente al uso de vertederos y la incineración
3. A menudo son más aceptables para el medio ambiente que algunas técnicas de tratamiento habituales (2).

La biodegradación de hidrocarburos en suelos es una alternativa que puede emplearse tanto para el tratamiento como para la disposición final de los residuos producidos durante la perforación de pozos petroleros. En la actualidad se ha comenzado a comprender que la capacidad de autodepuración de los suelos es restringida y que las actividades de su población microbiana, verdadero motor de la biodegradación de residuos, se reprime con la incorporación masiva e irracional de residuos, ya sea por las altas concentraciones que retrasan su degradación o por su condición de residuos peligrosos. (3)

Las tecnologías conocidas como Landfarming, Land Treatment o Land Application, son métodos de remediación de hidrocarburos de petróleo a través de la Biodegradación. Estas tecnologías consisten en la aplicación al suelo contaminado con hidrocarburos en una capa fina sobre el suelo preparado para tal fin. (4, 5)

Las efectividades de estas metodologías dependen de innumerables factores, entre ellos, las características agronómicas, topográficas y microbianas del suelo receptor, características y composición de los residuos aplicados, condiciones climáticas, etc. (6)

El objetivo de este trabajo es aplicar el proceso de Biorremediación mediante la técnica de bioestimulación de los microorganismos presentes, a los residuos de perforación (cortes y lodos) que se generarían en la perforación OFF SHORE de pozos de petróleo en la Zona Económica Exclusiva de Cuba con vistas a ofrecer una disposición ambientalmente segura.





## MATERIALES Y MÉTODOS.

Se prepararon composteros en recipientes plásticos redondos con un diámetro de 40 cm. y altura de 12 cm., utilizando para ello una mezcla de cortes de perforación y suelo de las áreas aledañas al 10 %, fertilizantes, agua y distintos tipos de materiales acondicionantes como bagazo o aserrín.

La composición y propiedades químicas de los cortes de perforación utilizados, los cuales fueron preparados a nivel de laboratorio para el presente estudio, se pueden observar en las siguientes tablas:

Tabla 1. Composición química de los cortes de perforación utilizados.

Componentes	Cantidad
Aceite básico	637 l
Agua	263 l
Emulsificador 1	20 l
Emulsificador 2	8 l
Control de pérdida de fluidización.	4 Kg.
Arcilla organofílica	12 Kg.
Cal	20 Kg.
CaCl <sub>2</sub>	141 Kg.
Control rehológico	1 l
Agente humectante	0.7 l
Barita	240 Kg.
Cortes	75 Kg.

l: litros

Kg.: kilogramos

Tabla 2. Propiedades de los cortes de perforación utilizados.

Parámetros	
Densidad	9.9 ppg
Viscosidad aparente	24 cps
Sólidos	14 %
H <sub>2</sub> O	27 %
Aceite	59 %
CaCl <sub>2</sub>	22%
Estabilidad eléctrica	289



Se utilizaron fertilizantes como urea y fosfato de amonio para enriquecer el suelo, de manera que los microorganismos se vieran favorecidos para llevar a cabo la biodegradación del crudo. La masa final de cada compostero fue de 2 Kg. Se realizaron distintas variantes de mezcla buscando identificar la alternativa más adecuada y económica. En la tabla 3 aparece la descripción detallada de los composteros evaluados:

Tabla 3. Composición de los composteros estudiados.

	Control	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Suelo Limpio	714	681	681	681	681
Cortes de perforación (g)	286	318	318	318	318
Fertilizante (g)	-	1,11	1,11	1,11	1,11
Aserrín (g)	-	-	72	-	-
Bagazo 1 (g)	-	-	-	72	-
Bagazo 2 (g)	-	-	-	-	72
Total (g)	1000,00	1000,11	1072,11	1000,11	1000,11

Para el seguimiento de las variantes de tratamiento de Biorremediación se realizaron ensayos microbiológicos y químicos.

### Crecimiento Microbiológico.

Como otra medida de monitoreo se realizó un conteo total de microorganismos heterótrofos a cada uno de los composteros. De esta forma se evaluaron como se comporta la concentración bacteriana durante el biotratamiento. El crecimiento bacteriológico se realizó en placas con medio rico de Agar Nutriente, a una temperatura de incubación de 37 °C. Las muestras fueron tomadas cada 15 días. Se procedió según la norma 1991(10).

La producción de CO<sub>2</sub> (Respirometría) es un ensayo que se realiza para evaluar de forma indirecta la actividad microbiológica del suelo, durante el proceso de biotratamiento de compuestos orgánicos, a través de la cuantificación del CO<sub>2</sub> producido por unidad de tiempo en un área determinada. Esta técnica consiste en colocar pequeños recipientes destapados con KOH (0.1 N) dentro de una cámara invertida con 15 cm de diámetro por 16 cm de alto sobre el área de biotratamiento (compostero). Este permanece por espacio de 18 horas, para posteriormente ser valorado con una solución de HCl (0.1 N). Los valores son expresados teniendo en cuenta el área del suelo dentro de la cámara y el tiempo de exposición. Este ensayo se realizó cada 15 días (11).

### Análisis Químico.

Las muestras fueron tomadas de forma aleatoria con muestreador de sólidos, obteniendo una muestra compósito para cada alternativa de tratamiento en estudio. El tamaño de muestra en todos los casos fue de 10 g. El muestreo se realizó a los 0, 30, 60 y 90 días de montado los experimentos en el laboratorio. Las muestras se sometieron a extracción durante 16 horas en un equipo Soxhlet empleando diclorometano como solvente. El extracto orgánico obtenido se concentró con corriente de nitrógeno, determinando el contenido de aceites y grasas por el método gravimétrico.



En el proceso de precipitación de asfaltenos se utilizó n- pentano y la fracción concentrada de maltenos se separó en saturados, aromáticos y resinas, utilizando cromatografía de adsorción en columna empacada con alúmina activada. La cuantificación de cada fracción se realizó de forma gravimétrica (12, 13,14).

La tasa de biodegradación se obtuvo según la siguiente expresión:

Concentración Inicial – Concentración Final

$$\text{Tasa (\%)} = \frac{\text{Concentración Inicial} - \text{Concentración Final}}{\text{Concentración Inicial}} * 100$$

Concentración Inicial

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En todos los composteros se realizó la medición del pH pues en la literatura se recomienda un rango de 6.5 – 7.5 como el óptimo para el crecimiento microbiano. Todos los experimentos montados cumplieron con esa condición excepto el control y el compostero 1 que presentaron un pH de 8.3, lo que explicaba en este último la total ausencia de actividad microbiana. A éste se le realizó la corrección del pH hasta 7.5 con una solución de sulfato de hierro (II), detectándose posteriormente el inicio de la biodegradación.

En las siguientes tablas, Tabla 4 y 5, se reportan los contenidos de grasas y aceites y de hidrocarburos totales del petróleo, de los suelos contaminados tratados con la técnica de biorremediación.

Tabla 4. Contenido de grasas y aceites (mg/kg).

Tiempo (días)	0	30	60	90	120
Control	109248	103110	72770	54500	50980
Muestra 1	110111	87590	70930	52010	40830
Muestra 2	118090	78860	69380	55260	42970
Muestra 3	101467	78700	69810	55110	51210
Muestra 4	123742	80440	69150	51520	37360

Tabla 5. Contenido de hidrocarburos totales (mg/kg).

Tiempo (días)	0	30	60	90	120
Control	68947	59870	61450	42700	33060
Muestra 1	77991	68500	65040	40500	29890
Muestra 2	78404	62290	60380	44480	29900
Muestra 3	71646	63060	60950	47930	31330
Muestra 4	73946	67070	63270	38320	26020

En los siguientes gráficos se pueden observar la variación del contenido de grasas y aceites (Fig.1), hidrocarburos totales (Fig.2), y la tasa de biodegradación obtenida con las diferentes variantes de tratamiento aplicadas (Fig.3).

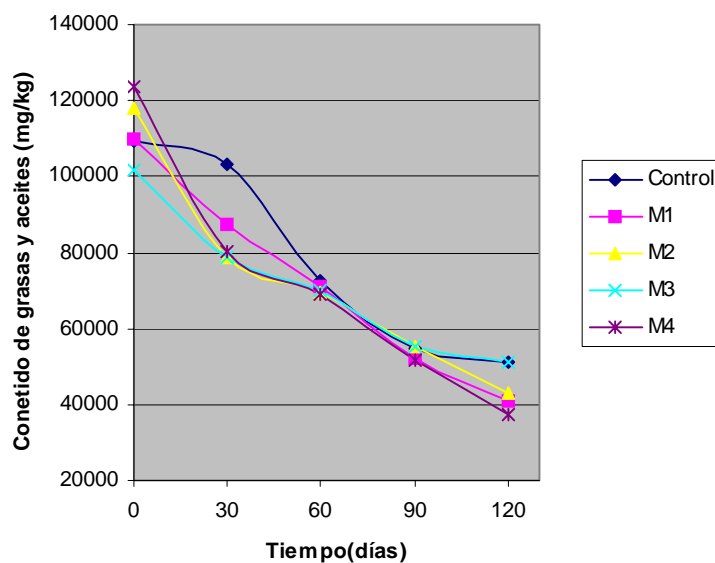


Fig.1. Variación del contenido de grasas y aceites

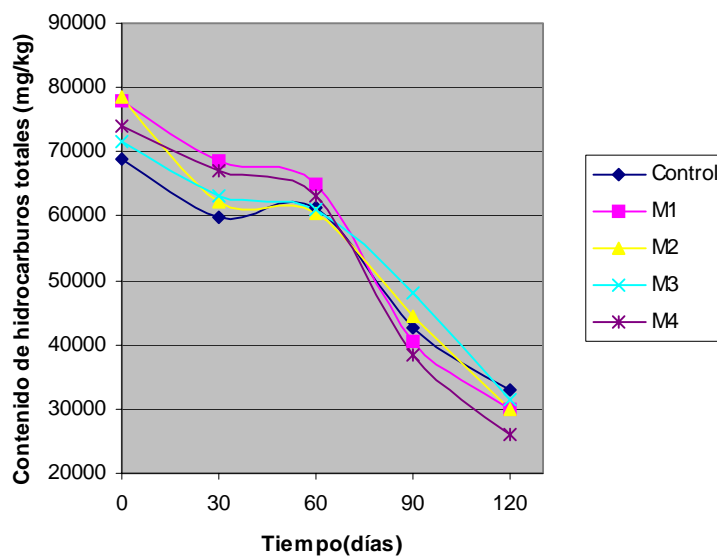


Fig.2. Variación del contenido de hidrocarburos totales del petróleo.

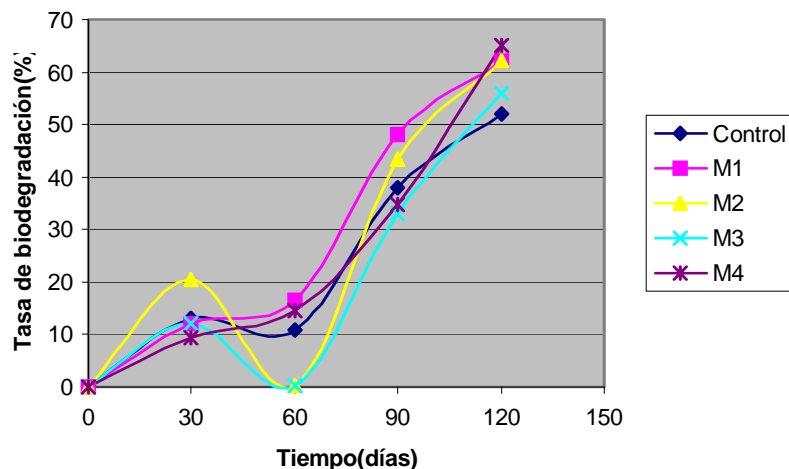


Fig.3. Tasa de biodegradación

En todas las muestras empleando la biorremediación se obtuvo una apreciable disminución del contenido de hidrocarburos en la mezcla, debido a la actividad microbiana existente. Esta biodegradación era de esperar ya que existen las condiciones adecuadas para que ocurra este proceso (pH, temperatura, humedad, condiciones aeróbicas).

En todas las variantes estudiadas se obtuvo una tasa de biodegradación entre 50 - 65% en 120 días, valores adecuados para estos residuos utilizando el proceso de Biorremediación. Como se puede observar, la biodegradabilidad obtenida en estos experimentos no fue incrementada significativamente con la utilización de agentes acondicionantes. Esto se evidencia si se compara los resultados obtenidos para las muestras 1y 4, en ausencia y en presencia de agentes acondicionantes respectivamente. En la literatura se han obtenido resultados muy variados, de lo que se puede inferir que se debe tener en cuenta la influencia de las características del residuo a tratar y las condiciones ambientales. Sin embargo, la utilización de estos materiales ayuda en la manipulación de estos residuos y a su mezclado, además de facilitar la biodisponibilidad del contaminante, la aireación y humectación, sobre todo cuando este proceso se realiza en gran escala.

Se nota una mejoría en los rendimientos de la biorremediación obtenida al adicionar nutrientes al suelo contaminado, esto se observa si se compara el control (aprox. 50% de biodegradación) con los resultados obtenidos para las muestras 1, 2 y 4(60 – 65% de biodegradación).

Las tasas de biodegradación obtenidas a los 120 días son satisfactorias (52 - 65%), de lo que se puede concluir que si el tratamiento se prolonga por más tiempo puede alcanzarse aproximadamente un 80 % de biodegradación, lo que correspondería con la disminución del contenido de hidrocarburos totales en el suelo a un 1%, considerándose este valor satisfactorio de acuerdo a experiencias internacionales (4, 5, 6, 7).

### Producción de CO<sub>2</sub> (Respirometría)

En Tabla 6 se pueden observar los resultados obtenidos en los ensayos de respirometría correspondientes a las alternativas de biorremediación aplicadas.



Tabla 6. Producción de CO<sub>2</sub>, expresada en mg CO<sub>2</sub> / cm<sup>2</sup> x h

Tiempo (días)	0	7	14	21	30	37	44	51	60	90	120
Control	4,8	17,7	14,6	20,16	23,22	21,38	27,5	25,6	20,7	24,4	25.05
M1	1,2	4,8	17,7	33,61	26,8	24,4	31,7	50,11	36,6	45,2	45.83
M2	5,3	74,5	58,6	40,94	64,77	24,4	42,7	58,05	39,1	46,4	59.88
M3	7,9	81,8	70,8	48,27	69,66	58,05	40,3	69,66	51,9	56,83	67.83
M4	8,5	21,16	34,22	30,5	24,4	52,55	28,72	57,44	37,8	45,8	56.22

Como se puede observar, los valores obtenidos para todas las alternativas aplicadas son superiores que los correspondientes al control. Esto evidencia la importancia de la adición de nutrientes y la aireación para obtener los resultados esperados en la biorremediación. Esto también se evidencia en los resultados en el conteo de microorganismos (Tabla 7), donde los niveles más bajos como es lógico se obtuvieron para el control.

Tabla 7. Conteo de microorganismos, expresado en UFC / g suelo.

Tiempo (días)	0	30	60	90	120
Control	1 x 10 <sup>5</sup>	2,7 x 10 <sup>5</sup>	1,11 x 10 <sup>4</sup>	5,2 x 10 <sup>5</sup>	4.8 x 10 <sup>5</sup>
M1	3,5 x 10 <sup>5</sup>	1,26 x 10 <sup>6</sup>	1,34 x 10 <sup>6</sup>	2,3 x 10 <sup>6</sup>	3 x 10 <sup>6</sup>
M2	3,33 x 10 <sup>5</sup>	9,5 x 10 <sup>7</sup>	1,71 x 10 <sup>6</sup>	2,8 x 10 <sup>6</sup>	2.4 x 10 <sup>7</sup>
M3	6,66 x 10 <sup>7</sup>	1,0 x 10 <sup>8</sup>	1,55 x 10 <sup>7</sup>	2,5 x 10 <sup>7</sup>	1 x 10 <sup>8</sup>
M4	1,17 x 10 <sup>8</sup>	1,11 x 10 <sup>8</sup>	1,37 x 10 <sup>6</sup>	3,37 x 10 <sup>6</sup>	9.5 x 10 <sup>7</sup>

## CONCLUSIONES.

1. La técnica de Biorremediación resulta apropiada para el tratamiento y/o disposición final para los residuos de lodos y cortes de perforación.
2. Para las condiciones seguidas en este estudio, se comprobó que la adición de materiales acondicionantes no resultó determinante para la biodegradación de los residuos.
3. La tasa de biodegradación obtenida en este estudio para en un período de 120 días fue aproximadamente de un 52 - 65 %, lo que se ajusta a lo reportado en la literatura especializada.

## RECOMENDACIONES.

1. Aplicar el proceso de Biorremediación mediante la bioestimulación de los microorganismos a los residuos de lodos y cortes de perforación que se generen en la perforación OFF SHORE.





2. Utilizar agentes acondicionantes (aserrín, bagazo, etc.) para facilitar el manejo y mezclado de estos residuos en el terreno.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- CIPP. Regulación Ambiental 01/95. Manejo de residuales durante la perforación de pozos de petróleo en tierra (onshore). CUPET, La Habana, 1995.
- EPA542-F-96-017. Deseschos sólidos y respuesta en situaciones de emergencia (5102G), EU, 1996
- Belloso Claudio. XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Biodegradación de Suelos Contenidos en Terrarios. 1998
- Cursi, E.; Calleja, C. Biorremediación de suelos contaminados con Hidrocarburos. U.E. Mendoza, Argentina, 2000
- Ercolli, E. Galvéz, J. Tratamiento biológico ex situ de residuos semisólidos de oleoductos. Laboratorio de Bioprocesos; UN de Cuyo, Argentina, 2000
- Di Paola, M; Cantero, J. Análisis y evaluación de parámetros críticos en biodegradación de hidrocarburos en suelo. Laboratorio de Bioprocesos; UN de Cuyo, Argentina, 2000
- ARPEL. Environmental Monitoring Procedures. Komex Int. Ltd., Calgary, 1997.
- ISO 5667. Calidad del Agua - Muestreo. 1994.
- León, N; Infante, C. et al. Biodegradability of Venezuelam Crude Oil. SPC 48921, Venezuela, 1998
- ISO 4833:1991. Microbiology – General guidance for teh enumeration of microorganisms. Colony count technique at 30 oC.
- Viale, R. e Infante, C.; (1997) Protocolo para medir producción de CO2 en suelo. Documento Técnico. INTEVEP. INT- STE – 0966.97.
- Abboud, SA. Comunicación Personal, 2000
- Sawatzky, H, Albert, E et al. Hydrocarbon type separation of heavy petroleum fractions. Vol. 55,16, Canada, 1976
- The reclamation of agricultural soils after oil spills . Part 1. Research Department of Soil Science. The University of Alberta, Canada.



## **AFECTACIONES QUE PRODUCEN ALGUNAS DE LAS INDUSTRIAS DE LA PROVINCIA DE HOLGUÍN AL MEDIO AMBIENTE. ESTUDIO DE CASOS.**

**MSc. Elaine Pino Santiesteban, MSc Hugo Ivonnet Borrero**

*Empresa de Proyectos e Investigaciones EMPI Holguín. Carretera Central vía Bayamo Km 2 1/2. Holguín. [empi.ubp.hol@enet.cu](mailto:empi.ubp.hol@enet.cu)*

### **RESUMEN.**

Teniendo en cuenta el peligro a que está sometida la humanidad al exponerse a las diferentes contaminaciones ambientales, en las cuales se encuentra bien involucrada la producción industrial, cuyas consecuencias redundan en la afectación a la salud del hombre, de los animales y las plantas, nos dimos a la tarea de realizar el presente trabajo en el cual recogemos en primer lugar los principales focos contaminantes de la provincia de Holguín. Luego, a manera de estudio de casos presentamos algunas de las industrias de nuestra provincia que dan lugar a esta problemática donde se reflejan: sus características fundamentales, los procesos que intervienen, áreas de producción, acciones que dan lugar a los impactos, así como los impactos negativos que se producen y los factores que se afectan.

Se exponen además las consecuencias que trae aparejado todo esto referidas a la salud del hombre de los animales y plantas así como las enfermedades que son capaces de producir los contaminantes.

Para la realización de este trabajo fue necesaria la recopilación de datos de diferentes trabajos de diploma realizados en los diplomados de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible impartidos desde el año 1999 hasta el 2003.

### **ABSTRACT**

Keeping in mind the danger to that it is subjected the humanity when being exposed to the different environmental contaminations, in which it is well involved the industrial production whose consequences redound in the affectation to the man's health, of the animals and the plants, we gave ourselves to the task of carrying out the present work in which we pick up the main polluting focuses of the county of Holguín in the first place. Then, by way of study of cases we present some of the industries of our county that give place to this problem where they are reflected: their fundamental characteristics, the processes that intervene, production areas, actions that give place to the impacts, as well as the negative impacts that take place and the factors that are affected.

They are also exposed the consequences that he/she brings harnessed all this referred to the health of the man of the animals and plants as well as the illnesses that are able to produce the pollutants.

For the realization of this work it was necessary the summary of data of different diploma works carried out in the graduates of Environment and Sustainable Development imparted from the year 1999 up to the 2003.



## INTRODUCCION.

Los problemas ambientales son muy antiguos, complejos y polifacéticos, surgen como resultado de la interacción de las sociedades humanas con el medio ambiente en que viven. Esta interacción ha tenido un largo desarrollo ya que en lo que se hacen más complejas las relaciones en la sociedad, más intensidad adquiere la acción del hombre sobre la naturaleza y por lo tanto sobre el medio ambiente.

A través de la historia el hombre ha estado utilizando los recursos naturales y a la naturaleza de forma arbitraria e irracional, sin tener en cuenta la irreversibilidad de sus consecuencias.

En junio de 1992, en la cumbre de la tierra celebrada en Río de Janeiro donde participaron los Jefes de Estados y de Gobiernos, toda esta problemática fue ampliamente debatida. En ella nuestro Comandante apuntó:

**“ Si se quiere salvar a la humanidad de esa destrucción, hay que distribuir mejor las riquezas y tecnologías disponibles en el planeta. Menos lujo y menos despilfarro en unos pocos países para que haya menos pobreza y menos hambre en gran parte de la tierra. No mas transferencias al tercer mundo de estilos de vida y hábitos de consumo que arruinan el Medio Ambiente. Hágase más racional la vida humana. Aplíquese un orden internacional justo. Utilícese toda la ciencia necesaria para un desarrollo sostenido sin contaminación. Páguese la deuda ecológica y no la deuda externa. Desaparezca el hambre y no el hombre”.**

En nuestro país a pesar de los daños causados desde tiempos antiguos a la naturaleza, como son: devastación de grandes áreas boscosas para otros usos de las tierras, contaminación atmosférica por uso de tecnologías atrasadas en las industrias, así como vertimiento de residuales a ríos, arroyos y mares sin ningún tipo de sistema de tratamiento lo cual contamina las aguas del manto freático, hoy en día se lleva a cabo una intensa labor por preservar la naturaleza y evitar daños al medio Ambiente.

El presente trabajo cuyo objetivo fundamental fue determinar los principales impactos ambientales que produce el desempeño industrial en nuestra provincia, es el resultado de los estudios realizados en diplomados de Medio Ambiente y la Industria en nuestra ciudad de Holguín en los años 1999 - 2003.

Para ello se tomaron diferentes industrias en las que se realizó en primer lugar una caracterización general de las mismas, detallándose: los procesos y flujos tecnológicos de las plantas de producción, las áreas específicas, valoración de los impactos ambientales producidos por los flujos productivos, acciones más impactantes así como los factores ambientales más afectados. Hemos agregado además algunos, de los daños que estos producen al hombre, los animales y las plantas.

## MATERIALES Y METODOS.

La realización de este trabajo fue posible con la utilización de los materiales elaborados por los autores de los Trabajos de Diplomas de los Diplomados de Medio Ambiente impartidos durante los años 1999 – 2004 en la ciudad de Holguín, así como por imágenes tomadas por los presentes autores. Los métodos utilizados fueron mediante visitas y reconocimientos a las industrias, sus diferentes áreas y zonas circundantes, así como entrevistas y consultas a expertos.

## RESULTADOS y DISCUSION.

Luego de obtener todos los datos referentes a las industrias seleccionadas se realizó una caracterización general de las mismas, se describieron los flujos tecnológicos, se determinaron las áreas así como las acciones, los impactos y los factores que se afectaban. Ver tablas I, II, III y IV. A continuación se describen las mismas.



### **Industrias que se tuvieron en cuenta para la elaboración del trabajo.**

#### **-COMBINADO MECÁNICO DE MOA.**

El trabajo se realizó a cinco áreas fundamentales.

##### Taller de construcciones metálicas.

En ella se realizan diferentes actividades como son lijado y esmerilado, proceso de pintura de equipos, cortes de chapas y mecanizado, procesos de soldaduras, etc. las cuales originan residuos y que en esos momentos no poseían ningún tipo de tratamiento, afectándose los diferentes factores del medio ambiente.

Se afectan el factor suelo, el agua el hombre y el paisaje.

##### Taller de reparaciones eléctricas.

En esta área se realiza quemado de motores lo cual origina la producción de gases, lo cual afecta al factor atmósfera y al hombre.

Se afectan el factor atmósfera y el hombre.

##### Taller de reparaciones automotrices.

Se realizan actividades como el lijado de chapas, limpieza de zona de pintura, limpieza de utensilios de pintura, desmonte de vehículos, pintura, embalaje de partes, y piezas de repuesto, lavado de partes y limpieza con disolventes, dando lugar a la aparición de residuos de lijado, disolventes agotados, chatarras, envases usados, piezas inservibles, aserrín impregnado de aceites, grasas y líquido hidráulico, aceites y grasas usadas, disolventes combustibles, etc.

Se afectan el factor suelo, el agua, el hombre y el paisaje.

##### Talleres de fundición.

Se encuentran los hornos de fundición y cazuelas, hornos de fusión, se realizan procesos de moldeos y fabricación macho, limpieza de piezas, mantenimiento, etc.

Se producen residuales como escorias o cenizas, restos de materiales refractarios usados, mezclas de moldeo usadas, polvos y partículas, desechos metálicos, aceites usados y piezas inservibles, electrodos defectuosos.

En este caso son afectados el factor atmósfera, el hombre, el paisaje el suelo y el agua.

##### Área cocina comedor.

En esta área se producen residuos domésticos derivados de la elaboración de alimentos y restos de los mismos.

Se afectan la atmósfera, el suelo, el agua y el hombre.

Los talleres donde se produce mayor cantidad de impactos son:

- Taller de reparaciones automotrices.
- Taller de Construcciones metálicas.

Los factores más afectados son: Aire, Suelo, Hombre.

### **UNIDAD GEOMINERA HOLGUÍN**

La Unidad Geominera Holguín es una dependencia de la Empresa Geominera de Oriente radicada en Santiago de Cuba, que es una entidad del Ministerio de la Industria Básica. La Unidad según la división político administrativa, pertenece a la provincia y municipio Holguín, consejo popular San Andrés,, está situada aproximadamente a 23 km al noreste de la capital provincial y 3 km al sur del poblado de San Andrés.

La Unidad se compone por el yacimiento de Zeolita San Andrés y La Planta de Procesamiento de minerales técnicos

El ñ minado se realiza a cielo abierto, por medio de una cantera. La extracción es masiva, por cuanto la calidad y condiciones del yacimiento son buenas. Para el arranque del material se usa explosivo. El material arrancado se carga a camiones de volteo, por medio de excavadora de



pala directa, los que transportan el material hasta la planta hasta la planta de procesamiento, ubicada al norte del yacimiento.

El área de explotación del yacimiento es de 22,87 ha, la cantera actual abarca un área de 12,7 ha y el área de procesamiento es de 5,16 ha. La explotación comenzó desde 1990.

El tipo de procesamiento que se utiliza es preparación mecánica, el que se realiza en seco. La planta constituye un circuito simple de trituración media, trituración fina y clasificación, que incluye un circuito de secado con horno, depósito de almacenamiento y ensacado rudimentario, además, facilidades de carga a granel.

La escombrera, proyectada para el yacimiento, actualmente no existe, porque el el bloque que se está explotando no tiene volúmenes considerables de estéril. Los residuos finales del procesamiento se emiten a la atmósfera. Ver tabla I.

#### Cantera Zeolita

Las acciones más importantes que se realizan en la Cantera son la Barrenación, Voladura, Carga y Transporte.

Los impactos que se producen son.

- Transformación del relieve.
- Cambios de uso y ocupación del suelo.
- Alteraciones estéticas del paisaje.
- Contaminación del aire por polvos y gases, debido a la voladura y a las emisiones de motores de combustión interna.
- Pérdida y contaminación mecánica del suelo.
- Pérdida y afectación al substrato rocoso, debido a la extracción minera.
- Pérdida y afectación a la fauna.
- Cambios en el régimen hidrogeológico debido a la extracción minera.
- Contaminación sónica por incremento del nivel de ruido, debido al funcionamiento de los equipos mineros, y durante la voladura.

Los factores más afectados son: suelo, aire, hombre y paisaje.

#### Planta de Procesamiento.

Las acciones más importantes son la Trituración media, Trituración fina, La clasificación, Almacenamiento y transporte.

Los impactos que se producen son.

- Cambios de uso y ocupación del suelo.
- Alteraciones estéticas del paisaje.
- Afectaciones a la vegetación debido a las emisiones de polvo a la atmósfera.
- Pérdida y afectación a la fauna debido a las molestias que ocasiona el ruido.
- Contaminación del aire por polvos generados durante el procesamiento mineral, su almacenamiento y transporte.
- Contaminación sónica por incremento del nivel de ruido y vibraciones generadas durante el procesamiento del mineral y su transporte.

Los factores más afectados son: suelo, aire, hombre y paisaje.

Para valoración de los impactos ver tabla I.

### **DESTILERIA ANTONIO MACEO.**

La destilería Antonio Maceo se encuentra ubicada en el municipio de Cacocum, provincia Holguín. Actualmente es una Unidad Básica de Producción de derivados del CAI "Antonio Maceo" con una plantilla de 42 trabajadores y una capacidad de producción de 200 HL / día. Tiene como característica la producción y comercialización de alcoholes tipo, licores, alcohol F-5 (uso doméstico) y sacharomyce (alimento animal). El proceso productivo cuenta con los siguientes pasos.



- Recepción y preparación de la materia prima.
- Proceso de fermentación.
- Proceso de destilación de alcohol.
- Almacenaje del alcohol.
- Producción de F-5.
- Producción de alimento Animal.

Las acciones que dan lugar a los impactos son:

- Almacenamiento y preparación de la materia prima.
- Instalación de tuberías.
- Proceso de fermentación.
- Proceso de destilación de alcohol
- Proceso de combustión
- Producción de alimento Animal.

Los impactos que se producen son:

- Contaminación por derrames de miel.
- Contaminación por vertimiento de aguas residuales del lavado de corbatos a la zanja.
- Contaminación por vertimiento de aguas residuales por lavado de tanques y derrames de cremas.
- Escapes de Vapor
- Escapes de gases alcohólicos y amílicos en tuberías.
- Desprendimiento de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- Empleo de sustancias nocivas al organismo que emiten gases irritantes.
- Escape de vapores alcohólicos en equipos.
- Altas temperatura se equipos.
- Emanación de gases de combustión a la atmósfera.

Para valoración de los impactos ver tabla II.

### **EMPRESA DE CERAMICA BLANCA.**

La Empresa de cerámica Blanca de Holguín José Luis Tassende de las Muñecas subordinada al ministerio de la construcción tiene como objeto social la producción de Muebles sanitarios con sus accesorios, revestimientos azulejos, procesamiento de materias primas utilizadas en la cerámica, tales como feldespatos, carbonato de calcio, y chamopta, además se construyen figuras ornamentales, murales y trabajos de decoración.

Surge como una de las pocas Empresas en los quinquenios del período 75 – 85, que además de servir como fuente de trabajo a los jóvenes de esta provincia sustituyó las importaciones de productos y algunas materias primas del área capitalista lográndose con ello un ahorro de divisa para el país. También daría respuesta con los productos elaborados, a las necesidades existentes en las provincias orientales, lográndose con ello un incremento de la construcción de viviendas, obras de la salud y de carácter social.-

#### Áreas de trabajo de la Empresa.

- Planta de muebles sanitarios.
- Azulejos.
- Feldespato.
- Departamento de materias primas.
- Departamento de pasta.
- Departamento de preparación de esmalte.
- Departamento de aplicación esmalte.
- Departamento de moldes y matrices.
- Departamento de de moldes y matrices.





- Departamento de prensas.
- Departamento de vaciado.
- Departamento de clasificación. producto terminado.
- Departamento de secado.
- Departamento de cocción.
- Departamento de clasificación de feldespatos.
- Departamento de molienda feldespatos.
- Departamento de producto terminado.

Para valoración de los impactos ver tablas III y IV. Ver además anexo VII.

### **YACIMIENTO LOS CALICHES.**

El flujo tecnológico del yacimiento Los Caliches se inicia en la cantera con los trabajos de desbroce, perforación, voladura, carga y transporte del rajón.

El transporte se realiza con camiones de volteo a través de un camino. Unas veces transportadas el rajón hasta el molino se inicia en el mismo las operaciones de trituración primaria en los molinos de quijada y trituración secundaria en los molinos de cono y de discos. Mediante las zarandas se clasifican las diferentes fracciones que se producen durante la molienda incluyendo la arcilla, la cual es separada y almacenada temporalmente en una tolva.

Para el lavado de arena se utilizan los tornillos lavadores en los trabajos de la cantera se producen alteraciones de la vegetación, paisaje, emisión de polvo y ruido, erosión, vertido de estériles y cambios de la Geomorfología.

En la instalación industrial se producen ruidos, polvo, vertido de estériles, contaminación de las aguas y afectación de la salud de los trabajadores.

La instalación industrial trabaja mediante un proceso húmedo y para ello el agua es suministrada mediante una instalación de bombeo en el río Socarreño.

Los lodos producto del lavado se depositan en las lagunas de sedimentación donde posteriormente son extraídos con dragalina y depositados en los bordes de la laguna.

En este centro de trabajo existe una rampa de fregado y engrase con trampa de grasa que no funciona, las aguas con estos contaminantes van a una cañada y de ahí pasan sucesivamente al río Socarreño, río Cacoyoguin y bahía de Gibara.

Adjunto al proceso productivo existe también una cocina comedor la cual produce residuos sólidos y líquidos que son depositados en los montes cercanos y en fosas respectivamente. También existe una estación para el abastecimiento de combustible a los equipos, donde se producen filtraciones de diesel al suelo. Ver tabla V.

### **PLANTA DE PREPARACION MECANICA DE MINERALES.**

En la Planta preparación mecánica de minerales, se obtienen nueve tipos de carbones para la industria siderúrgica, talleres de fundición y para la planta de acumuladores de Manzanillo.

La planta de preparación mecánica de minerales es una instalación destinada a la clasificación y molienda de los diferentes tipos de carbón. El proceso productivo para la clasificación y molienda de los diferentes tipos de carbones genera diferentes impactos que actúan sobre los factores ambientales, alterando su estado normal, entre los cuales podemos destacar como más significativo; la generación de polvos y finos durante el proceso que contaminan el medio ambiente de la zona y el laboral.

#### **Proceso productivo de la Planta de preparación mecánica de minerales.**

Instrucción de operación.

La planta de preparación mecánica de minerales consta de tres secciones caracterizadas por los productos finales obtenidos en las mismas, las cuales se denominan:

- Sección de secado, molienda y clasificación: Obtención de ANTRACITA-200.



- Sección de cribado y trituración: Obtención de carbón de ajuste, carbón de insuflado y antrafil.
  - Sección de clasificación: Obtención de carbón de carga y fundición.
- Para la valoración de los impactos véase la tabla VIII.

### **Consecuencias de los contaminantes para la salud del hombre, los animales y las plantas..**

#### **Contaminantes del aire.**

##### **Efectos sobre el hombre**

Existen bastantes pruebas del daño que los contaminantes están causando a la vida en la tierra, y este daño seguirá creciendo diariamente a medida que seamos más y vayamos aumentando nuestra demanda ecológica. Existen evidencias médicas de los efectos nocivos de estos contaminantes al organismo humano, así como también, por investigaciones existen pruebas del daño que causan a los vegetales, a los animales, a las propiedades, al clima y a la atmósfera misma por los cambios cuantitativos de algunos componentes. Los principales contaminantes atmosféricos como el **monóxido de carbono**, los **óxidos de azufre**, **óxido de nitrógeno**, **vapores de hidrocarburos**; **partículas**, **mercurio**, **plomo**, c, están afectando seriamente la salud del hombre.

Las fuentes principales de **monóxido de carbono** del hombre son el tabaco, los escapes de los automóviles, el quemado de combustibles fósiles, y la calefacción doméstica.

Todos estos contaminantes están relacionados con el creciente aumento de enfermedades de la vista; afecciones gastrointestinales y cáncer de las vías respiratorias; insuficiencia coronaria; asma; bronquitis; tuberculosis; trastornos circulatorios cerebrales.

##### **Efectos sobre los animales.**

Estos contaminantes también afectan a los animales, aunque, como es natural, no se dispone de datos para valorar sus efectos debido a que al hombre, egoístamente, más le interesa su propia salud.

Dado que los animales en igualdad de condiciones, no son más resistentes que las personas, es lógico pensar que los que habitan en zonas urbanas o industriales, tienen promedios de vida más cortos que los que viven lejos de estos centros; pues en las zonas urbanas no hay fuentes de alimento para los depredadores ni existen escondrijos naturales para sus víctimas.

##### **Efecto sobre los vegetales.**

La contaminación del aire también afecta los vegetales por lo menos en el mismo grado que a los humanos y a los animales. A las plantas le perjudican el grado y duración de la contaminación. Así un árbol que crece en una zona urbana altamente contaminada probablemente morirá más pronto o sufrirá una defoliación y menor crecimiento que otra que expuesta ocasionalmente a un más bajo nivel de contaminación. El daño va, pues, desde una reducción del crecimiento hasta el completo exterminio.

Los contaminantes gaseosos entran con el aire por las estomas durante el ciclo de respiración de las plantas. Esta contaminación altera el proceso fotosintético y destruye la clorofila disminuyendo por tanto la producción de alimentos.

#### **Contaminantes del agua.**

Enfermedades de transmisión hídrica más comunes, patologías correspondientes y agentes que la causan.

Agentes y Patologías.

- ♦ Salmonelosis.



En los humanos la salmonelosis acostumbra a presentarse como una afección gastroenterítica aguda, con diarreas y dolores abdominales. Como síntomas secundarios son frecuentes las fiebres, náuseas, y vómitos. La salmonella puede encontrarse en aguas residuales, lagunas de oxidación, albañales, aguas de regadío, arroyos, etc.

♦ Leptospirosis.

Es producida por el género leptospira, que por lo general tiene acceso al torrente sanguíneo a través de heridas, afecciones de la piel y las mucosas. Produce infecciones agudas que pueden localizarse en los riñones, el hígado y el sistema nervioso central.

♦ Eschericia coli (enteropatogenica).

Algunos serotipos de E. Coli pueden causar gastroenteritis, la cual se caracteriza por diarreas profusas acuosas, carentes de mucosidades y de sangre, náuseas, decaimiento y deshidratación, por lo general con ausencia de fiebre. Cólera.

La bacteria vibrio cholerae(v. comma) puede causar una afección intestinal aguda, caracterizada por diarreas acuosas repentinas y profusas, vómitos, supresión de la orina, deshidratación, disminución de la presión sanguínea, descensos de las temperaturas y colapso total; la muerte puede ocurrir a las pocas horas de la aparición de los síntomas, a no ser que el paciente se atienda rápidamente. La propagación del cólera puede ocurrir por contagio directo entre personas, por ingestión de alimentos contaminados por el agua.

♦ Virus entéricos humanos.

Cualquier virus humano que sea excretado en las heces puede ser transmitido potencialmente por el agua, a partir de una contaminación fecal.

Entre los de mayor connotación están: el virus de la hepatitis, el de la poliomielitis, los adenovirus, los reovirus y los causantes de los trastornos gastroenteríticos. En total son más de cien tipos diferentes, los cuales han podido ser aislados de aguas residuales y cuerpos de agua contaminados.

♦ Protozoos parásitos.

Las enfermedades provocadas por la presencia de protozoos que con más frecuencia se transmiten por el agua son la amebiasis, la giardiasis, la meningoencefalitis amébicas y la trichomoniasis.

Al finalizar el trabajo se presentan algunas imágenes referentes a la contaminación que producen algunas de estas industrias. Anexo VII.

## CONCLUSIONES

1. Todas las industrias antes mencionadas, en mayor o menor escala causan serios impactos negativos sobre el medio ambiente, constituyendo algunos de los principales focos de la provincia.
2. Faltan recursos para mejorar la tecnología y tratar los residuales, pero también hace falta organizar la gestión ambiental e incrementar la educación ambiental de directivos y especialistas.
3. Aún es insuficiente la exigencia hacia las industrias para que cumplan con lo establecido en la Legislación Ambiental.
4. Para mitigar estos impactos es necesario llevar a cabo un intenso plan de medidas a diferentes plazos.

## RECOMENDACIONES.

1. Continuar estudiando los efectos ambientales que producen las industrias del territorio, mediante un periódico monitoreo que permita conocer su evolución y accionar sobre ellos.



2. Implantar Sistemas de Gestión Ambiental en cada industria, que contribuyan a viabilizar su compromiso ambiental mitigando o eliminando los impactos ambientales negativos que las mismas provocan.
3. Incrementar la educación ambiental de los directivos y especialistas para lograr una mejor operación de las industrias garantizando la protección del Medio Ambiente y el cumplimiento de la Ley.

#### **BIBLIOGRAFIA.**

- Ivonnet, H, 1998. Metodología para Evaluación de Impactos Ambientales. ENRH, Holguín.
- Rodríguez, J, diciembre, 2004. Análisis de impactos ambientales de la Planta de Preparación Mecánica de Minerales. CIS, DMA. Nicaro, Holguín.
- Tapia, M, E, 2000. Protocolo Auditoría Ambiental Interna Unidad Geominera Holguín. DMA. UGMH. Holguín.
- Pino, E, 1997. Diagnóstico Ambiental en Combinado Mecánico de Moa. ISMM. Moa. Holguín.
- Sartorio, O, 2003. Valoración de Impactos Ambientales en Empresa de Cerámica Blanca de Holguín. DMA. Holguín.



TABLA I. UNIDAD GEOMINERA HOLGUIN. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE POR AREAS.

AREAS	IMPACTOS	ACCIONES	FACTORES
CANtera DE ZEOLITA	TRANSFORMACION DEL RELIEVE ORIGINAL CAMBIO EN EL USO Y OCUPACION DEL SUELO ALTERACIONES ESTETICAS DEL PAISAJE PERDIDA Y AFECTACION A LA VEGETACION Y A LA FAUNA. CAMBIOS EN EL REGIMEN HIDROGEOLOGICO CONTAMINACION DEL AIRE POR POLVO CONTAMINACION SONICA	BARRENACION VOLADURA CARGA TRANSPORTE	SUELO, FLORA, FAUNA, AGUA, HOMBRE
PLANTA DE PROCESAMIENTO	CAMBIO EN EL USO Y OCUPACION DEL SUELO ALTERACIONES ESTETICAS DEL PAISAJE AFECTACION A LA VEGETACION Y A LA FAUNA.. CONTAMINACION DEL AIRE POR POLVO CONTAMINACION SONICA	TRITURACION MEDIA TRITURACION FINA CLASIFICACION ALMACENAMIENTO TRANSPORTE	SUELO, FLORA, FAUNA, AGUA, HOMBRE



**TABLA II. DESTILERIA ANTONIO MACEO. CARACTERIZACION DEL MEDIO AMBIENTE.**

Area	Acciones	Impactos	Factores
PROCESOS DE LA DESTILERIA	Almacenamiento y preparación de la materia prima. Instalación de tuberías.	Cotaminación por derrames de miel. Por vertimiento de aguas residuales del lavado de corbatos a la zanja Por vertimiento de aguas residuales por lavado de tanques y derrame de cremas.	Suelo





	Proceso de fermentación. Proceso de destilación de alcohol Proceso de combustión Producción de alimento Animal.	Escapes de Vapor Escapes de gases alcohólicos y amílicos en tuberías. Desprendimiento de CO <sub>2</sub> a la atmósfera. Empleo de sustancias nocivas al organismo que emiten gases irritantes. Escape de vapores alcohólicos en equipos. Altas temperaturas en equipos. Emanación de gases de combustión a la atmósfera.	Aire, Hombre
		Cotaminación por derrames de miel. Por vertimiento de aguas residuales del lavado de corbates a la zanja Por vertimiento de aguas residuales por lavado de tanques y derrame de cremas.-	Agua

**TABLA III. EMPRESA DE CERAMICA BLANCA. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE POR PLANTAS DE PRODUCCIÓN Y SUS DEPARTAMENTOS.**

PLANTAS Y DEPARTAMENTOS	IMPACTOS	ACCIONES	FACTORES
-------------------------	----------	----------	----------



Planta Muebles Sanitarios Azulejos Feldespatos Dpto M. Primas	Polvo, producto de la transportación de la materia prima	Almacenamiento y transportación de materia prima para su procesamiento	Aire, hombre, suelo, flora, fauna.
Muebles Sanitarios Azulejos Dpto Preparación de Pasta	Polvo, producto de la transportación de la materia prima Ruido, producto de la molienda húmeda Pasta, producto del derrame y retenido del tamizado.	Pesado, transportación y molienda de las materias primas. Tamizado de Pasta	Aire, hombre, suelo, f lora, fauna, agua.
Azulejos Dpto Preparación Pasta	Gases, Producto de la combustión del combustible	Atomización de Pasta.	Aire, hombre, flora, fauna, suelo.
Muebles sanitarios Azulejos Dpto Preparación Esmalte	Ruido, producto de la molienda húmeda. Esmalte, producto del derrame y retenido del tamizado.	Molienda de esmalte. Tamizado del esmalte	Aire, hombre, agua.

TABLA No. IV. VALORES RESULTANTES DE LOS IMPACTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS POR ACCIONES Y FACTORES AMBIENTALES DE LOS FLUJOS TECNOLÓGICOS DE LAS PLANTAS DE PRODUCCIONES. EMPRESA DE CERÁMICA BLANCA.

FACTORES 4.	PLANTA	ACCION																			Σ Impacto
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	LL	M	N	Ñ	O	P	Q	



Agua	M.Sanitario			-47			-45	-42			-40									-174
	Azulejos			-47			-44	-46												-137
	Feldespatos																			
Aire	M.Sanitario	-42	-35			-31			-24		-39					-47				-218
	Azulejos	-43	-38		-46	-32				-33			-27	-48		-49				-316
	Feldespatos	-36													-37		-37	-47	-32	-189
Suelo	M.Sanitario	-37	-33						-21		-46									-137
	Azulejos	-39	-37		-32					-33										-141
	Feldespatos	-39													-33		-33	-46	-35	-186
Flora	M.Sanitario	-27	-25													-31				-83
	Azulejos	-28	-24		-26									-31		-32				-141
	Feldespatos	-33												-27			-30	-48	-27	-165
Fauna	M.Sanitario	-27	-25													-31				-83
	Azulejos	-24	-25		-28				-37				-32			-33				-142
	Feldespatos	-29												-28			-28	-47	-29	-161
Paisaje	M.Sanitario									-43	-42									-85
	Azulejos										-41									-41
	Feldespatos																			
Hombre	M.Sanitario	-50	-51			-32		-40	-36		-45					-50				-304
	Azulejos	-44	-45		-36	-30						-32	-44			-46				-314
	Feldespatos	-40												-38			-42	-50	-42	-212
Socio economico	Las 3 plant																			+64
	Las 3 plant.																			+65
Σ Impacto Planta Muebles sanitarios		-183	-169	-47		-63	-45	-82	-81		-213	-42				-159				-1084
Σ Impacto Planta Azulejos.		-178	-169	-47	-168	-62	-44	-46		-103		-41	-59	-155		-160				-1232
Σ Impacto Planta Feldespatos.		-177													-163		-170	-238	-165	-913
TOTAL IMPACTOS (-)		-538	-338	-94	-168	-125	-89	-128	-81	-103	-213	-83	-59	-155	-163	-319	-170	-238	-165	-3229
TOTAL IMPACTOS (+)																			+129	

**TABLA V. VALORACION DE LOS IMPACTOS YACIMIENTO LOS CALICHES.**



IMPACTOS	INDICADORES												
	<u>Ca</u>	<u>i</u>	<u>Ex</u>	<u>Si</u>	<u>Pe</u>	<u>Ef</u>	<u>Mo</u>	<u>Ac</u>	<u>Mc</u>	<u>Rv</u>	<u>Pr</u>	<u>IM</u>	<u>CLI</u>
1	(-)	4	1	1	4	2	4	4	4	4	4	-41	M
2	(-)	2	2	1	4	2	4	1	4	4	2	-32	M
3	(-)	1	2	1	2	1	2	4	4	2	1	-24	CO
4	(-)	2	4	1	1	2	4	1	4	2	4	-33	M
5	(-)	1	4	2	1	2	2	4	4	2	4	-32	M
6	(-)	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	-20	CO
7	(-)	2	2	1	1	1	1	4	2	1	2	-23	CO
8	(-)	2	4	1	1	2	4	1	1	1	4	-29	M
9	(-)	4	4	1	1	2	4	1	2	1	4	-36	M
10	(-)	2	2	1	4	1	2	1	4	2	2	-27	M
11	(-)	2	8	1	4	2	2	1	8	4	4	-48	M
12	(-)	8	4	2	4	2	4	1	4	4	4	-57	S
13	(-)	4	2	1	4	2	4	1	4	2	4	-38	M
14	(-)	4	1	1	4	2	2	1	4	2	2	-32	M
15	(-)	4	8	1	4	2	4	1	4	4	4	-52	S
16	(-)	8	8	1	4	2	4	1	8	4	4	-68	S
17	(+)	2	1	1	2	2	4	1	1	1	4	+22	CO
18	(+)	2	2	1	2	2	4	1	1	1	4	+26	M
19	(+)	4	4	1	2	2	4	1	1	1	4	+36	M
20	(-)	2	2	2	2	2	1	1	2	2	4	-26	M



## **RELACION DE IMPACTOS CAUSADOS**

- 1.- Pérdida o alteración del suelo fértil por excavaciones, construcción de caminos, escombreras etc.
- 2.- Vertido de estériles y materiales no aprovechables.
- 3.- Aumento de la erosión.
- 4.- Incremento del nivel de sólidos en suspensión por remoción de los materiales.
- 5.- Contaminación por combustibles y lubricantes.
- 6.- Incremento de la temperatura de las aguas superficiales por la pérdida de la vegetación.
- 7.- Alteración de la calidad del agua subterránea por variación de la infiltración.
- 8.- Incremento en el nivel de ruidos.
- 9.- Disminución de la calidad atmosférica.
10. Modificación a nivel micro climático como consecuencia de la eliminación de la vegetación.
11. Cambios en la Morfología.
12. Perdida de la vegetación en general.
13. Reducción de especies ocasionadas por la tala de árboles y arbustos.
14. Desplazamiento de los animales hacia otros medios similares.
15. Modificaciones de las características visuales del paisaje.
16. Disminución del atractivo paisajístico.
17. Incremento del nivel de empleo.
18. Mejoramiento de la red de transporte.
19. Mejoramiento de las comunicaciones.
20. Afectaciones a la salud de los pobladores y trabajadores.



Nro	Carácter CI	Intensidad I	Extensión EX	Sinergia SI	Persis Tencia PE	Efecto EF	Mom del Impacto MO	Acum.. AC	Recupe Habilidad MC	Reversibil RV	Period. PR	Import. IM	Clasif CLI
1	-	1	1	1	1	D	4	1	1	1	2	16	CO
2	-	1	1	1	1	D	4	1	1	1	2	16	CO
3	-	1	2	1	1	D	4	1	1	1	2	18	CO
5	-	4	4	1	1	D	4	4	4	2	2	38	M
6	-	1	2	1	1	D	4	1	1	1	2	18	CO
7	-	4	4	1	1	D	4	4	4	2	2	38	M
8	-	1	2	1	1	D	4	1	1	1	2	18	CO
9	-	4	4	1	1	D	4	1	1	1	2	29	M
10	-	4	4	1	1	D	4	1	1	1	2	31	M
11	-	4	4	1	1	D	4	1	1	1	2	31	M
12	-	1	2	1	1	D	4	4	2	2	2	23	CO
13	-	1	1	1	1	D	4	1	1	1	2	16	CO
14	-	1	2	1	1	D	4	1	1	1	2	18	CO
15	-	1	2	1	1	D	4	1	1	1	2	18	CO
16	-	1	1	1	1	D	4	1	1	1	2	16	CO
17	-	1	2	1	1	D	4	1	1	1	2	18	CO
18	-	8	4	1	2	D	4	4	1	2	2	48	M
19	-	8	4	1	2	D	4	4	1	2	2	48	M
20	-	8	4	1	2	D	4	4	1	2	2	48	M
21	-	8	8	1	2	D	4	4	2	2	4	59	S

**TABLA VIII. VALORACION DE IMPACTOS. PLANTA DE PREPARACION MECANICA DE MINERALES.**







Enumeración de Impactos.

Sistema de Depuración de polvos.

Filtro de Mangas.

1. Generación de polvos por la baja eficiencia en su funcionamiento.

Ciclones.

2. Baja eficiencia en la recolección de polvos y finos.

Chimenea

3. Emanación de polvos de carbón.

Sistema de Cribado y trituración.

Zaranda.

5. Generación de polvos y finos de carbón.

6. Contaminación Sónica por ruido.

Trituradora de cono.

7. Contaminación por polvo.

8. Sónica por ruido.

Sistema de clasificación y molienda.

Molino de carbón.

9. Contaminación por polvo.

10. Sónica por ruido.

11. Riesgo accidentes.

Banda Transportadora.

12. Contaminación por polvo.

Secadero.

13. Propagación de energía calórica.

14. Contaminación por polvo.

Transporte automotor.

15. Contaminación por polvo.

16. Riesgo accidentes.

Almacenaje materia prima.

17. Contaminación por polvo.

18. Contaminación del suelo por deposición de finos de carbón.

19. Contaminación de las aguas superficiales por carbón.

20. Deterioro de la flora por deposición de materia prima.

Empresa Siderúrgica.

21. deterioro de la calidad de vida producto de la actividad general de la Empresa.



TABLA VI. ALGUNOS DE LOS PRINCIPALES FOCOS CONTAMINANTES DE LA PROVINCIA DE HOLGUIN.

ORGANISMO	FOCO CONTAMINANTE
MINAL	MOLINO DE TRIGO
MINAZ	CENTRAL FERNANDO DE DIOS
MINAZ	CAI LOPEZ PEÑA
MINAL	ESTABLECIMIENTO CARNICO
MINAZ	CAI NICARAGUA
MITRANS	TALLERES DE TRANSPORTE FERROVIARIO
MINAZ	CAI ANTONIO MACEO
MINAZ	CAI CRISTINO NARANJO
MINAZ	CAI LOYNAZ HECHAVARRIA
MINAZ	CAI FRAN PAIS
MIMC	PLANTA DE ASFALTO CERRO VERDE
MIMC	COMBINADO DE CERAMICA BLANCA
MIMC	FABRICAS DE VALDOSAS
MINAGRI	PLANTA DE PIENSO LIQUIDO
MINAL	COMBINADO CARNICO FELIPE FUENTE
MINAL	COMBINADO LACTEO RAFAEL FREYRE
MINAL	FABRICA DE CERVESA BUCANERO SA
MINAL	COMBINADO DE BEBIDAS Y LICORES
MINAL	FABRICA DE CONSERVAS TURQUINO
MINAL	FABRICA DE REFRESCOS ARGENTINA
MINAZ	ESTABLECIMIENTO ORESTE ACOSTA
MINAZ	TALLER DE ASEGURAMIENTO TECNICO
MINBAS	RECAPADORA DE GOMAS
MINBAS	PLANTA DE ACETILENO
MINIL	COMBINADO POLIGRAFICO JOSE MIRO



ANEXO VII. SE MUESTRAN ALGUNAS IMÁGENES QUE EVIDENCIAN LA CONTAMINACION QUE PRODUCEN ALGUNAS DE ESTAS INDUSTRIAS



EMPRESA DE CERAMICA BLANCA. PLANTA FELDESPATO.  
CONTAMINACION POR POLVO



FABRICA DE BALDOZAS. CONTAMINACION POR POLVO



PRIM  
Mem

2005.





FABRICA DE CONSERVAS TURQUINO. VERTIDO DE DESACHOS AL RIO.

RIO HOLGUIN DESEMBOCADURA DE OTROS RIOS Y ARROYOS.



## **ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN PARA EL REORDENAMIENTO AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BACURANAO**

Jorge L. Díaz Comesañas, Adelaida Castellanos Silvén, Nyls Ponce Seoane, Rey Carral Chao y Ramón Rivada Suárez.

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de La Habana, Cuba. Telf. 55 72 32 Fax. e-mail: [rivada@igp.minbas.cu](mailto:rivada@igp.minbas.cu)*

El caso de estudio se fundamenta en el análisis de la susceptibilidad a la erosión por la combinación de factores como las pendientes (reclasificadas en cinco rangos), calculadas a partir del Modelo Digital del Terreno, a las cuales les fue asignado pesos (1, 2, 3, 5 y 7) de acuerdo a su importancia.

Otros elementos tenidos en cuenta fueron el contenido de materia orgánica y la variedad de los suelos, ambos fueron desglosados en tres rangos. Al primero se le dio peso 1, 2 y 3 desde humificado a poco humificado y al segundo en alta, media y baja con pesos 1, 2 y 3 respectivamente.

El criterio de selección de los tres factores analizados está dado en el papel que juegan los mismos en la capacidad de infiltración, escurrimiento y retención de las aguas, elementos que tienen una gran vinculación con la erosión del suelo.

Después de ser realizada la superposición de cada uno de los factores actuantes considerados para el análisis de la susceptibilidad, el resultado fue un mapa de valores numéricos desde 3 hasta 13, su reclasificación posterior permitió obtener el mapa en cuatro clases: alta, media, baja y sin susceptibilidad.

La información resultante de los rangos de susceptibilidad se cruzó con los grados de favorabilidad del mapa de uso agrícola, obteniéndose un nuevo resultado con criterios más fundamentados para redefinir las áreas de los diferentes usos agrícolas.

El resultado final consistió en el mapa de usos potenciales, confeccionados a partir del criterio de experto basado en los mapas de los diferentes usos del territorio (agrícola, urbano, minero y forestal), y el mapa de susceptibilidad a la erosión y otras consideraciones, normas y regulaciones vigentes. Este mapa muestra los usos actuales y los usos más apropiados para las diferentes actividades.

El mapa final de los potenciales de uso representa una herramienta fundamental en el ordenamiento y reordenamiento de la cuenca del río Bacuranao y el Mapa de Susceptibilidad además permite establecer una prioridad de las sub cuencas en relación a las medidas anti erosivas.





## EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL MUNICIPIO ARTEMISA.

**Msc. Jorge Olivera Acosta,<sup>(1)</sup> Ing. Martha Rodríguez<sup>(1)</sup> Uracsuka, Lic. Martha Fleitas Argüelles,<sup>(2)</sup> Ing. Joel Villariño Ordoñez<sup>(1)</sup>, Ing. José Alcalde Orpí.<sup>(1)</sup>**

(1) – Instituto de Geofísica y Astronomía. IGA, Agencia de Medio Ambiente-CITMA. Calle 212 No 2906 esq. A Ave 29, La Lisa, Ciudad de La Habana, Cuba. ZIP 11 600, E-mail: yoyi@iga.cu

(2)- Delegación CITMA provincia Habana.

### Resumen.

El presente Trabajo permitió realizar una evaluación del estado actual de las condiciones Ambientales del Municipio Artemisa (Provincia de La Habana), mediante la caracterización del medio Físico (Geosistema) y de algunos componentes del medio socio-económico (antroposistema). Apoyándonos para ello en la cartografía de los procesos geólogo-geomorfológicos, procesos que afectan a los recursos hídricos y los suelos así como de aquellos aspectos del medio socioeconómico que provocan impactos negativos en el medio geológico, tales como presencia de focos y fuentes de contaminación producto del desarrollo industrial y urbano y otros que indiquen mejoras de calidad de vida como aquellos aspectos relacionados con la salud, la recreación, el estado de la vivienda, las fuentes de empleo, etc. así como la identificación y evaluación de los diferentes problemas ambientales y las medidas para mitigar o disminuir estos problemas, todo lo cual propiciará el desarrollo de una gestión ambiental adecuada por parte del gobierno municipal, que posibilite la máxima racionalidad en el proceso de toma de decisiones relativa a la conservación y protección del medio ambiente.

### ABSTRACT

The present Work allowed to make an evaluation of the present state of the Environmental conditions of the Artemisa Municipality (Province of Havana City), by means of the characterization of the natural land (Geosistema) and of some components socioeconomic (antroposistema). Supporting us for it in the cartography of the processes geologist-geomorfologic, processes that affect the hydric resources and the Soils as well as those aspects of socioeconomic that cause negative impacts in the natural land, such as presence of sources of contamination product of the industrial and urban development and other that indicate improvements of quality of life like those aspects related to the health, the recreation, the state of the house, the sources of employed, etc. as well as the identification and evaluation of the different environmental problems and the measures to mitigate or to diminish these problems, everything which will cause the development of a suitable environmental management on the part of the municipal government, that it makes possible the Maxima rationality in the process of decision making relative to the conservation and protection of the environment

### INTRODUCCION

El Medio Ambiente como un sistema de formación histórica refleja las relaciones entre la naturaleza y la sociedad, está integrado por tres subsistemas: el físico o geosistema, biótico o biosistema y el antrópico o antroposistema; los dos primeros constituyen el medio natural y sobre él, el hombre ejerce su acción transformadora en aras de satisfacer sus necesidades. De esta interacción surge la premisa fundamental para la concepción del trabajo: La evaluación de las condiciones ambientales del municipio Artemisa, premisa indispensable para un desarrollo armónico sostenible.

Es por ello que la caracterización del Medio Ambiente y la instrumentación de políticas, elaboración de metodologías y aplicación de técnicas para su conservación y protección, se ha convertido en los



últimos años en uno de los problemas científicos de máxima prioridad de la comunidad internacional, por sus implicaciones directas en la conservación de la vida en la Tierra.

la investigación tiene como objetivo general realizar la valoración del estado actual del medioambiente con vista a mejorar la planificación y gestión ambiental en el territorio del Municipio Artemisa, describiendo de manera general los aspectos vinculados con el medio físico (natural) y el socioeconómico (antrópico), permitiendo la identificación de los principales problemas ambientales que afectan al Municipio así como los principales peligros naturales y antrópicos a los que se exponen las comunidades que viven y se desarrollan dentro de el, haciendo énfasis en el estudio del medio geológico, por su función como fuente de recursos, soporte de las actividades humanas y receptor de residuos, con el fin de crear las bases para futuros estudios de ordenamiento territorial y ambiental y para dotar al gobierno municipal con la información geoambiental necesaria para evaluar la trascendencia de los problemas ambientales detectados y revelar la necesidad de adoptar un conjunto de medidas de prevención, mitigación y corrección de tales problemas.

Para ello se recoge la información brindada por diferentes direcciones e instituciones del Municipio. Estas instituciones son: Poder Popular, Dirección Municipal de Planificación Física, Dirección Municipal de Salud Pública, Dirección de Servicios Comunes, Delegación Municipal de la Agricultura, Dirección Municipal de Estadística, Dirección Municipal de Vivienda, Dirección de Higiene y Epidemiología, Delegación CITMA de Ciudad de La Habana, Estado Mayor de la Defensa, y otras. Se brinda de manera general, una actualización y una breve caracterización del estado del medio ambiente actual, identificando los principales problemas que afectan la calidad ambiental del Municipio.

Este trabajo posibilita la caracterización más profunda de cada uno de los componentes del medio ambiente, permitiendo detectar las principales causas de los problemas ambientales del Municipio y las posibles formas de eliminar o mitigarlos, así como prevenir los que todavía puedan generar nuevos problemas en el futuro. Se brindan además algunos criterios sobre las potencialidades turísticas y recreativas del territorio.

## **MATERIALES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS.**

### **2.1- Materiales empleados.**

Los materiales que sirvieron de base para el desarrollo del trabajo se relacionan a continuación.

La base cartográfica empleada para la realización de la investigación fue a escala 1: 25 000 que comprende el territorio del municipio Artemisa. Además se utilizó como apoyo a la cartografía digital la Imagen Satelital Landsat TM año 2001 a escala 1:30 000 que cubre el territorio de dicho municipio.

La información correspondiente al medio geológico se obtuvo mediante el mapa digital 1: 100 000 de la región Habana-Matanzas realizado por especialistas del Instituto de Geología y Paleontología del MINBAS (IGP), la Información relacionada con los aspectos climáticos se obtuvo del Nuevo Atlas Nacional de Cuba realizado por un colectivo de autores del Instituto de Geografía Tropical y otros centros del país, la información relacionada con los ciclones tropicales se obtuvo de INTERNET en el sitio <http://www.weather.unisys.com/hurricane/atlantic/> estos se encuentran libres para su uso.

La información relacionada con los suelos se obtuvo sobre la base 1: 25 000 del Mapa Genético de Suelos para la República de Cuba empleando la Nueva Versión de Clasificación Genética de los



Suelos de Cuba . La base para la confección del modelo digital de elevación del terreno fue mediante el empleo de la digitalización de hojas cartográficas a escala 1: 50 000.

Los datos no elaborados de fuentes primarias (registros, estadísticas censo, etc) fueron aportados por las diferentes direcciones del gobierno municipal como: la dirección Municipal de Salud Pública, Higiene y Epidemiología, Dirección de Agricultura, Planificación Física, Vivienda, Acueducto y Alcantarillado, Servicios Comunales y otros. Los datos aportados de flora y fauna en la parte noroeste del municipio fueron aportados por la estación ecológica de Sierra del Rosario

Para el desarrollo del trabajo fueron utilizados diferentes software con la finalidad de resolver tareas particulares vinculadas a la preparación de los datos y fueron los siguientes:

Microsoft Excel XP, Microsoft Word XP, Surfer V. 8, y el programa convierte GRD.

Para la elaboración de la cartografía digital se utilizó el SIG MapInfo V. 7.8 y el Vertical Mapper V.3

### **Metodología de los Trabajos**

El punto de partida del equipo de investigación fue el de analizar las metodologías de las diferentes experiencias nacionales e internacionales disponibles en bibliotecas y paginas WEB con la intención de adecuarlas a la realidad del municipio.

De esta manera, en la elaboración de éste estudio ambiental primero revisamos la ofrecida por algunos trabajos ambientales realizados en municipalidades españolas (Granada, La Rioja, etc ), así como también estudios de este tipo en municipalidades del Mexico como ( municipio de Ecatepec , Coacalco, etc ), en Brasil en el municipio de São Francisco de Paula, en todos ellos se realiza una caracterización y valoración del estado del medio físico donde se incluyen estudios de los componentes naturales como geología, suelo, relieve, edafología, hidrología, flora , fauna, etc, y aspectos socioeconómicos como población, economía, estructura urbana, uso del suelo, etc. Se trata la problemática ambiental de aspectos como el agua, aire, suelo, residuos sólidos crecimiento urbano, elementos bióticos, etc. El análisis integro de esta información permitió detectar los principales problemas ambientales así como proponer un grupo de medidas para mitigar o eliminar los problemas detectados.. También se consultaron las realizadas por especialistas de nuestro departamento de estudios Geoambientales donde los estudios de esta naturaleza recogen los mismos indicadores para el análisis ambiental municipal que las consultadas en la literatura internacional.

### **La evaluación ambiental municipal debe comprender:**

#### **1- Caracterización de recursos naturales y ecosistemas:**

Se deberá realizar una caracterización descriptiva y analítica del estado de los recursos naturales (Geología, recursos minerales, Clima , Relieve, Suelos, Hidrografía superficial y subterránea, paisaje, Flora, Fauna, etc), a su vez, identificar los principales problemas que afecten a los suelos, la calidad del aire, la calidad y disponibilidad del agua y biota en general. etc.

#### **2- Caracterización de las influencias antrópicas sobre los recursos y los ecosistemas.**

Se debe de incluir una caracterización analítica de las influencias tanto positivas como negativas, que ejercen sobre el medio ambiente sectores tales como el transporte, agricultura, energía, industria y turismo, población desde el punto de vista de su impacto sobre la situación del medio ambiente (consumo de recursos naturales y efectos sobre la calidad del medio ambiente, uso del suelo,



contaminación, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, así como la identificación de los fenómenos físico geológicos y antrópicos que generan peligros para los asentamientos y para la salud humana). Por último se determinan los principales problemas ambientales que afectan a cada uno de los componentes del bioesistema y antroposistema.

## CARACTERISTICAS GENERALES DEL MEDIO NATURAL.

### Ubicación geográfica

El municipio de Artemisa, se encuentra ubicado al suroeste de la Provincia de la Habana, limitando al norte con los de Guanajay y Mariel. Al este con los de Caimito y Alquizar, al oeste con el municipio pinareño de Candelaria y al sur baña sus costas con el Mar Caribe.



El municipio es básicamente llano en casi toda su extensión. Al oeste, y en la porción norte existen elevaciones que constituyen parte de las Sierras del Rosario y de Borrego, donde el punto más alto lo constituye la "Loma del Rubí con 395.2 metros.

Las grandes áreas de bosques que originalmente la poblaban fueron demolidas en función de la intensa actividad agroindustrial en el territorio desde principios del siglo XIX. La faja del litoral se caracteriza por la existencia de manglares y ciénagas no aptas para la agricultura y la existencia de zonas con pequeños bosques

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### Incidencias ambientales de los fenómenos y procesos naturales

#### ➤ **Clima. Peligros potenciales relacionados con el clima.**

#### **1- Ocurrencia de Eventos meteorológicos extremos.**

En este sentido los mayores peligros a que se expone la población del municipio, son similares a los del resto del país : son peligros vinculados a la ocurrencia de ciclones y huracanes tropicales, sures, tormentas eléctricas, tornados e intensas lluvias o sequías prolongadas. Al ser riesgos de connotación nacional están contemplados en los planes de prevención y protección de la Defensa Civil Nacional. En la figura No 1 se muestra el paso de los ciclones desde 1853 hasta la actualidad que han azotado directa e indirectamente al municipio.



Fig. No 1 afectación de ciclones tropicales a las provincias Habaneras.



## 2- Inundaciones

La ocurrencia de inundaciones no es el resultado de la acción aislada de alguno de los elementos del medio natural o socioeconómico, al contrario, su aparición siempre está condicionada a la combinación de dos o más de ellos. En el caso de nuestro municipio los principales factores condicionantes de riesgos de inundación son:

- 1.-Factor Climatológico: Determinado por la ocurrencia de intensas lluvias, asociadas a tormentas tropicales y huracanes. Es este el factor desencadenante del Peligro, pues al producirse se generan importantes niveles de precipitaciones, difíciles de infiltrar o evacuar rápidamente.
- 2.- Factor Antrópico: Relacionado con el desarrollo de la actividad urbanística, el crecimiento de las redes viales (asfaltización), obras hidrotécnicas, etc, que provocan la interrupción del drenaje natural, fundamentalmente en ríos de primer, segundo y tercer orden.
- 3.- Deficiencias en las redes de alcantarillado encargadas de la evacuación de las aguas de escorrentía superficial.
4. -Las pendientes más elevadas favorecen la ocurrencia del fenómeno, condicionando las direcciones principales de confluencia de la escorrentía superficial

## 3- Penetraciones costeras.

Las inundaciones registradas en la zona costera, deben sus orígenes fundamentalmente a la surgencia que acompaña a los ciclones tropicales (también llamada marea de tormenta), bajas extratropicales (los Sures) y lluvias intensas en la zona alta, que provocan avenidas en las partes bajas de los ríos y canales que desembocan próximos al asentamiento majana.

En el caso de las inundaciones por penetraciones del mar intensa (al punto de evacuar a la población) se manifiesta con una periodicidad de 3 a 4 veces en el año, siendo más frecuentes aquellas asociadas a los sures (Carreras F. Rodríguez C: 1999).

Tanto los ciclones tropicales, como los sures afectan fuertemente la zona costera por cuanto provocan penetraciones del mar, en muchos casos de gran profundidad hacia tierra adentro, con alturas entre 0,50 y 1 metro y una frecuencia de hasta cuatro veces por año (Carreras F.,1999). El Proyecto PNUD 003 / 94 de 1998 definió esta Zona como la (de mayor peligro a nivel del país por surgencia ciclónica.





Dentro de la Zona Costera, el área de mayor peligro se encuentra entre las curvas altimétricas de 0 a 1 metro, ya que los periodos de retomo del fenómeno se pronostican 1/ 5-8 años; en cambio en la faja comprendida entre las curvas altimétricas de 2,5 a 5 metros los periodos de retorno se pronostican 1/ 85-156 años, evidenciando las zonas menos peligrosas. .

La zona costera Sur de Artemisa es afectada por penetraciones del mar bastante frecuentes, asociadas a los sures, incluso a aquellos sures suaves de vientos entre 10 y 15 nudos y cuyas inundaciones en tierra pueden alcanzar alturas de hasta 1 metro sobre el nivel del mar.

Estas penetraciones provocan un deterioro de las condiciones higiénico sanitarias del asentamiento Majana dada por la presencia de lodo en las calles y viviendas, falta de circulación del drenaje en el asentamiento y en consecuencia el estancamiento de las aguas en las partes bajas, se producen desbordamiento de las fosas de las viviendas a los canales de drenaje y mala calidad del agua potable, se deteriora el estado de las viviendas y proliferan enfermedades de la piel y hongos.

Por todos estos motivos la población radicada en el asentamiento ha emigrado hacia Artemisa y otros asentamientos cercanos.

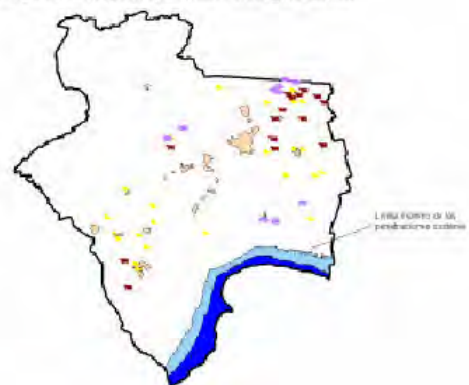
Las características de estas penetraciones productos de la surgencia, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla No 1

Cotas Altimétricas	Frecuencia Casos /Años	Alturas (m)
0.5	1/5 años	0.7
1.0	1/7 años	0.9
2.0	1/19 años	2.2

Fuente: Proyecto Cuba/94/003 (1998)

Escenario de las penetraciones Costeras por eventos meteorológicos Extremos



Según la población residente en el poblado Majana, las aguas alcanzaron una altura de 1,5 metros y una profundidad en tierra de 1500 a 2000 metros cuando la surgencia del huracán de 1944.

Con esta situación se afectan 51 habitantes permanentes en este asentamiento.

Se reporta además pérdida de la barrera de arena de la playa, retroceso de la línea de costa, acumulación de fangos y aparición de rocas en el fondo del mar por pérdida y traslado de los sedimentos arenosos..

En temporada ciclónica está prevista la evacuación del personal por inundaciones provocadas por intensas lluvias los asentamientos: Neptuno, Calipso, Maravilla Roja, Maquinaria Corojal, Ginebra, Batey Lincoln y en el Núcleo urbano Artemisa Rpto San Antonio y Callejón de Massó.

#### 4- Incendios forestales.

Está prevista la zona de Majana como zona de desastre por incendio forestal y en la zona de la Reserva forestal Sierra del Rosario.

### ➤ Geología . Procesos geológicos que desencadenan peligros

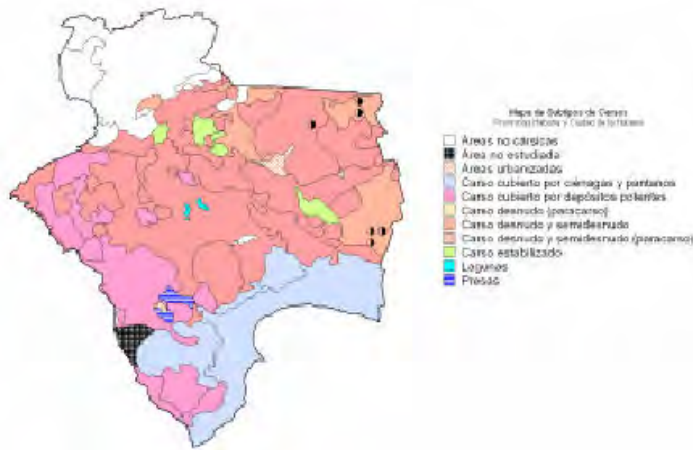
#### 1-Procesos Cársticos:





Ocurre por procesos de disolución en rocas carbonatadas, al producirse una pérdida gradual de los materiales que conforman las formaciones cársicas: dolinas, sumideros, etc., o por hundimiento de una cavidad subyacente que provoca el colapso de la formación superficial.

#### Subtipos de carso y sus Escenarios



La formación geológica que potencialmente ofrece mayores peligros para la ocurrencia de este fenómeno es Güines la cual esta ampliamente distribuida en el territorio del municipio ocupando un área de 317 km cuadrados representado el 46 % del total del territorio artemiseño, en ellas se reportan un gran numero de cavernas cartografiadas y oquedades. En menor grado este fenómeno pudiera aparece en las formaciones geológicas Jaruco (10%) y Cojimar ( 17 % )

## **2-Desprendimientos o caídas**

Es el tipo más simple de movimiento, la roca o el suelo cae libremente bajo los efectos de la gravedad y el material se deposita en cotas más bajas o al pie del talud.

Este fenómeno solo es posible en zonas con fuertes pendientes en las laderas de montañas y en laboreos mineros como resultado de la extracción de materiales para la construcción ( canteras)

## **3-Erosión**

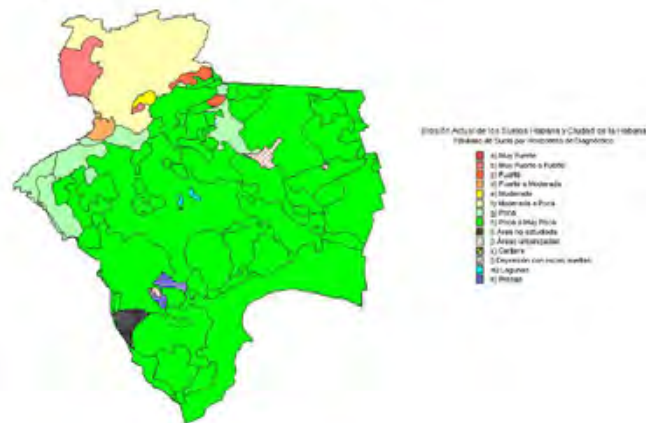
La erosión es un proceso geológico natural que ha estado operando en la superficie terrestre desde su formación, muy ligado a la dinámica geológica y climática del planeta, conjuntamente con los de transporte y sedimentación.

Los sedimentos erosionados son responsables de la colmatación de embalses, aumentan los efectos de las inundaciones, rellenan ríos, reducen el valor estético y recreativo del paisaje, aumentan el costo de los tratamientos de agua y son una forma de degradación del suelo edáfico. En los procesos erosivos influyen varios factores naturales, entre ellos: la lluvia, la cobertura vegetal, la topografía, las características físico – mecánicas de los suelos, etc.

La erosión es uno de los problemas más acuciantes que afectan a los suelos agrícolas del país y del mundo. Es también uno de los procesos dañinos que pueden conducir a la desertificación de un territorio, como consecuencia de la pérdida total de la capa arable de los suelos y posterior esterilidad del paisaje.



### Mapa de Erosion Actual de los Suelos



#### ➤ Procesos geomorfológicos.

Aquí entran, los agentes de degradación ambiental y otros procesos y factores exógenos (morfodinámicos).

En el territorio del municipio de Artemisa y asociado a la litología presente, ocurren los siguientes procesos geomorfológicos:

- **Procesos erosivos denudativos:** Relacionados con el relieve no carsificado del mismo nombre. En este tipo de relieve se destacan los procesos de vertientes, a través de las pendientes, el de erosión fluvial, que ocurre en y a lo largo de los cauces estacionales y permanentes de las corrientes fluviales que drenan el área.
- **Procesos de denudación cársica:** Relacionados con el relieve carbonatado litológico – estructural y de las llanuras marinas erosivas corrosivas.
- **Procesos litorales:** Relacionados con el relieve litoral lacustre del humedal costero que se extiende por la costa sur de la provincia de la Habana.
- **Procesos neotectónicos:** Relacionados con todos los tipos de relieve, pero con una diferenciada actividad y reflejo en el relieve, de acuerdo a la intensidad de ocurrencia de los mismos.

### Incidencias ambientales de los fenómenos y procesos antropicos

#### ➤ Peligros Inducidos

##### 1- Fuentes Contaminantes.

El medio ambiente de un territorio se ve afectado por varias causas que se originan fundamentalmente por el impacto ocasionado por la propia incidencia del desarrollo socio – económico del mismo, en el cual no se ha tomado en consideración la posible incidencia negativa del objeto construido y puesto en explotación.



Se debe tener en cuenta que se consideran fuentes contaminantes potenciales aquellas instalaciones, industriales o no, que pueden emitir alguna sustancia que cambie la composición del aire, el suelo o las aguas (tanto superficiales como subterráneas). capaz de alterar los recursos, procesos y sistemas ecológicos, o de provocar riesgos a la salud humana.

En este sentido los elementos del medio que básicamente se encuentran afectados por contaminantes son: el agua, el aire y el suelo, e indirectamente la vegetación, la fauna y el hombre.

En el municipio Artemisa los tipos principales de contaminación y las principales fuentes que la generan, se relacionan a continuación.

### **1-Contaminación del aire. Fuentes móviles y fijas**

Las fuentes artificiales de emisión de contaminantes del aire pueden tener un origen agrícola si se refieren al empleo de fertilizantes e insecticidas, la deforestación de los bosques o la quema de cultivos, pero en el caso tecnológico se dividen en fuentes fijas y móviles en dependencia de si las emisiones se originan desde un lugar determinado como pueden ser las de origen industrial o si es una fuente en movimiento como el transporte rodado. Ambas fuentes fijas y móviles están caracterizadas por procesos industriales en los cuales la energía fósil (petróleo y carbón) posee un peso fundamental en la contaminación, combinado con la existencia de una tecnología dependiente de estas formas de energía y a la vez productora de desechos que no son reciclados o controlados

#### **A- Fuentes fijas:**

Las principales industrias que contaminan el aire en el municipio son: CAI Abraham Lincoln (utilización de combustible con alto contenido de azufre), Fabrica de plaguicidas, Empresa de asbesto cemento, aeropuerto agrícola maravilla roja, torrefactora, fabrica de cemento y cal, frigorífico, fabrica de hielo, la planta de amoniaco y el uso combustible doméstico ( Keroseno , petróleo y Leña) para la elaboración de alimentos en los asentamientos poblacionales que componen el municipio. Deficiencias en la incineración de desechos tóxicos peligrosos y en el manejo de sus cenizas. Incineraciones abiertas en vertederos: Esta es otra práctica que entraña riesgos para la salud por los volúmenes de gases tóxicos que se generan: CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> y otros.

Las principales afectaciones que causan son la aparición de enfermedades respiratorias agudas, enfermedades de la piel y la vista y las mismas tienen incidencia directa en las poblaciones cercanas a las instalaciones industriales y también en las plantaciones agrícolas.

#### **B- Fuentes Moviles:**

Los principales contaminantes son los vehículos automotores de transporte publico por esta causa se ven afectadas las poblaciones aledañas a la Terminal de Ómnibus , calle 33 con alto flujo vehicular y personal satélite.

### **2-Contaminación del agua.**

Las principales contaminantes del recurso agua son el vertimientos de desechos industriales y domésticos sin ningún tratamiento directamente a los cursos fluviales y al medio geológico los cuales provocan la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y a su vez generan la aparición de los peligros biológicos.



## Peligros Biloógicos

En el municipio Artemisa las principales causas de peligros biológicos se vinculan a:

1.-Existencia de microvertederos y vertederos incontrolados, con la consiguiente proliferación de vectores y la exposición sistemática de la población a los mismos, pudiendo ser estos causa del desencadenamiento de enfermedades altamente riesgosas para la salud humana, como es el caso de la leptospirosis; que en los últimos años ha pasado a ser un problema de vigilancia epidemiológica en todas las áreas de salud del municipio, así como la generación de lixiviados de origen orgánico e inorgánico los cuales se infiltran directamente al acuífero.



2.-Ineficiente funcionamiento de la mayoría de las lagunas de oxidación destinadas al tratamiento de albañales domésticos e industriales, que como principales deficiencias tienen las siguientes:

- Inadecuada localización

- Deficiente mantenimiento: en algunas se observa un estado desfavorable de sus taludes y permanecen con abundantes plantas acuáticas, lo que impide se produzcan los procesos de degradación biológica de la materia orgánica. En reiteradas ocasiones se han producido vertidos de estas lagunas a los ríos para efectuar labores de saneamiento, lo que ha originado el aporte de volúmenes elevados de contaminantes de forma incontrolada.

- Ausencia de controles químico bacteriológicos de los residuales que arriban al lagunaje y de los efluentes que salen a los cursos fluviales, para conocer parámetros vitales de eficiencia en el funcionamiento como DBO, DQO, y pH.





### 3.-Vertido de desechos industriales sin tratamiento a la red fluvial y cavidades carsicas:

Un número importante de fábricas, Servicios y la población en general, hacen uso indiscriminado de los cursos fluviales y cavidades carsicas para deshacerse de sus desechos líquidos y sólidos.



4.- En general todos los centros hospitalarios constituyen riesgos biológicos potenciales por la naturaleza de las actividades que en ellos se realizan.

### Principales Problemas ambientales detectados en el municipio.

#### ➤ Problemas relacionados con las aguas superficiales y subterráneas.

Los principales problemas ambientales asociados a las aguas terrestres están dados por el nivel de contaminación de las mismas, la falta de conciencia ambiental, la escasez de recurso y mal manejo de los residuales sólidos y líquidos los cuales constituyen factores decisivos en la calidad de las aguas de los embalses, arroyos y ríos.

La disminución de la calidad de las aguas en el municipio es debido a las siguientes causas

- Vertimiento de residuales avícolas en las márgenes del río Bayate lo cual trae consigo la degradación del ecosistema.
- Vertimiento de aguas negras y pérdidas por salideros, provocando la contaminación de las aguas subterráneas provocando la aparición de enfermedades virales.

#### ➤ Problemas relacionados con la calidad del aire.

Los principales problemas ambientales asociados con la calidad del aire están dados por los niveles de contaminación que algunas industrias, asentamientos y vertederos provocan con la emisión directamente a la atmósfera sin ningún tipo de tratamiento de sustancias tóxicas, polvos, aerosoles, gases y emisión de malos olores, Las principales causas y los posible efectos provocados se relacionan a continuación.





- 1- Emisión de combustible con alto contenido de azufre procedente del CAI Abrahan Lincoln, la principal afectación es una disminución de la productividad de los cultivos y de la salud de la población expuesta a estos contaminantes.
- 2- Emisión de polvos sedimentables durante el proceso productivo de la Fábrica de Cemento Mártires Artemisa el cual trae consigo un incremento de las enfermedades respiratorias agudas, así como afectación a los cultivos varios.
- 3- Depósito al aire libre de residuos de asbesto cemento sin tratamiento debido al proceso productivo de dicha fábrica lo cual trae consigo un incremento de enfermedades de la piel y respiratorias así como los cultivos aledaños a esta área.
- 4- Utilización de combustible de origen orgánico (petróleo, madera) en los asentamientos poblacionales el principal efecto del problema es un incremento en la población de enfermedades respiratorias, de la vista y accidentes en el hogar.
- 5- Emisión de gases y malos olores debido al vertimiento de desechos de residuos domésticos, el principal efecto del problema es un incremento de enfermedades respiratorias agudas y un deterioro ambiental del paisaje.
- 6- Emisión de gases productos de la combustión automotriz el principal efecto causado es un incremento en la población de enfermedades respiratorias y efectos venenosos.
- 7- Emisión de olores provocados por el incinerador deficiente del Hospital Ciro Redondo el cual provoca un deterioro de la calidad del aire y la emisión de malos olores, causando problemas respiratorios a la población cercana a este.
- 8- Contaminación atmosférica por escape de productos químicos y afectados por emanaciones de gases tóxicos utilizados en el proceso productivo de la fábrica de Hielo, frigorífico, y fábrica de plaguicidas, trayendo consigo la aparición de enfermedades respiratorias.

Las áreas afectadas con estos problemas se relacionan a continuación

- 1- población de los asentamientos Lincoln, Pijirigua y Barrio Obrero con 4463 habitantes.
- 2- poblaciones de Las Cañas, Dagame, La Rafaela, Ingenio Nuevo, Clemencia, Las Marías con 4020 habitantes
- 3- Poblaciones de La Clemencia, Dagame, La Rafaela y población dispersa con 1190 y hectáreas de tierra para cultivos
- 4- Está afectada casi la totalidad de la población del territorio
- 5- Están afectadas las personas cercanas al vertedero Mcpal como son: Badon y población dispersa.
- 6- Están afectadas las poblaciones aledañas a la Terminal de Ómnibus, calle 33 con alto flujo vehicular.
- 7- Asentamientos La Cachimba y Ojo de Agua, ubicados en el radio de acción de la Fábrica de Plaguicidas, con una población de 400 habitantes aproximadamente, los asentamientos La Granada y Pijirigua por la Base Agro-química y en el Núcleo el Consejo Popular Repartos Nuevos por la Fábrica de hielos.





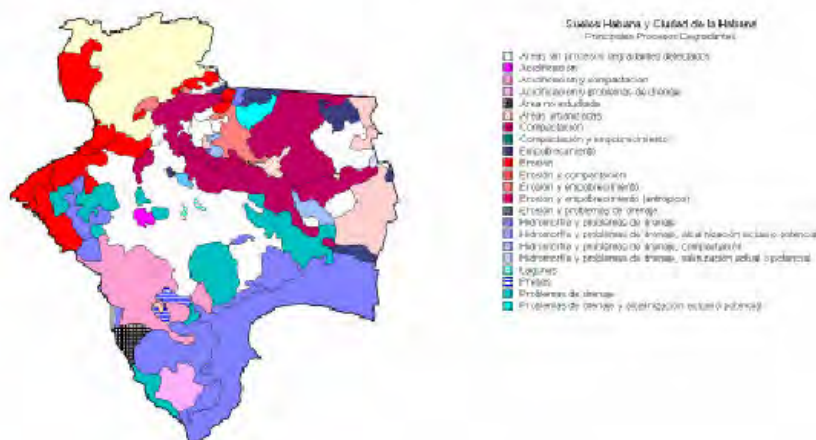
### ➤ Problemas relacionados con los suelos

Se encuentra el proceso de *compactación intensa* de los suelos, con alrededor del 23 % del FA. Este fenómeno es más marcado aquí en cuanto a su distribución superficial, en suelos de los agrupamientos *Ferralítico* y *Alítico* (en este orden de importancia) y en menor cuantía, aparece también en suelos del agrupamiento *Ferrálico*, todos ellos, propios de las áreas más llanas del territorio. Su aparición, no obstante tener una condicionante de base natural de acuerdo a las características propias de cada suelo, se ve intensificada hoy en día por el empleo durante décadas de la maquinaria agrícola pesada para el laboreo agrícola.

Le sigue de cerca, con casi 19.9 % del FA, el proceso de *alcalinización* (actual o potencial), fenómeno que está relacionado en este caso con el incremento de los valores de pH de algunos suelos, al parecer como una consecuencia del uso también durante décadas de aguas bicarbonatadas cálcicas y magnésicas para el riego.

Otros procesos degradantes presentes en el Municipio Artemisa, se relacionan con el incremento en los *problemas de drenaje* (13.2 %), del *empobrecimiento* de algunos suelos (9.5 %), debido a la disminución del contenido de materia orgánica y de su profundidad efectiva, la *hidromorfía* (procesos *redox*), relacionada con áreas depresionales de insuficiente drenaje (8.7 % del FA y alrededor del 19.0 % del área total del Municipio al incluirse el área correspondiente a la Ciénaga Sur) y finalmente el proceso de *acidificación* de algunos suelos (8.6 %), distribuidos fundamentalmente al suroeste del territorio.

Procesos Degradantes de los Suelos



### ➤ Otros problemas ambientales.

- 1- Interrupción del drenaje pluvial por la acumulación de sólidos en el alcantarillado.
- 2- Escasez y mala distribución del arbolado, donde el maltrato ha provocado déficit del mismo y ha incidido negativamente en la imagen de la ciudad.



- 3- Degradación del medio ambiente construido, donde del fondo de vivienda e infraestructura está afectado por su escaso ó nulo mantenimiento fundamentalmente las redes técnicas, las vías y aceras.
- 4- la pésima situación que presentan las redes de abasto de agua, que provocan pérdidas por salideros, fundamentalmente en el centro de la ciudad de Artemisa y en los núcleos urbanos de base.
- 5- Existe un insuficiente servicio de agua, lo que trae consigo contaminación y exceso de consumo del líquido y de la energía.

## CONCLUSIONES.

- 1- El medio geológico tiene limitaciones hacia la parte central y oriental del territorio, fundamentalmente donde se desarrollan procesos carsicos en las rocas de las formaciones Guines y Jaruco y en menor grado rocas de la formación Cojimar como:

- receptor de residuos.
- Para la construcción de obras hidrotécnicas

Estos procesos carsicos contribuyen al desarrollo acelerado del transporte de sustancias contaminantes al manto freático, ya que las rocas presentan alta porosidad y intenso agrietamiento, a su vez las mismas constituyen puntos de fugas de aguas.

- 2- Los principales problemas ambientales detectados en el territorio estudiado son:

- Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas
- Existencia de lagunas de oxidación sin tratamientos en todos los Asentamientos poblacionales.
- Existencia de peligros naturales potenciados por el desarrollo de fenómenos físico-geológicos como carso, inundaciones, desprendimientos, procesos erosivos,
- Inadecuada disposición de los residuales sólidos urbanos y deficiente servicio de recogida de basura.
- Importantes modificaciones del medio físico por movimientos de tierra para las construcciones, afectando la calidad del aire, y el drenaje superficial y subterráneo de las aguas de escorrentía.
- Alta vulnerabilidad de la zona costera a las penetraciones del mar durante eventos meteorológicos extremos.
- Inadecuado manejo de los residuales líquidos y sólidos.
- Deforestación de las márgenes de los ríos.
- Contaminación atmosférica y sónica.
- Contaminación de los suelos

- 3- Los elementos del medio geológico más impactados están vinculados todos con el insostenible desarrollo socioeconómico del territorio, que ha provocado que en las últimas décadas el mismo se haya convertido en sumidero de residuos sólidos, químicos, orgánicos y albañales no tratados y altamente agresivos.



4- Los principales Peligros a los que se expone la población del Territorio son:

- **Inundaciones.** ( por modificaciones del drenaje natural, mal manejo del Relieve carsico ( colmatación o rellenos de cavernas), eventos meteorológicos extremos, etc).
- **Contaminación.**( Vertimientos de industrias, contaminación del aire, Uso extensivo de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura, etc.)
- **Desprendimientos.**( pendientes abruptas, laboreos mineros ,etc)
- **Hundimientos en carso.** ( Presencia de cavernas, furnias, etc)
- **Peligros biológicos** (existencia de centros industriales, criaderos de animales, mal manejo de residuos sólidos urbanos, etc.)
- **Peligros climatológicos** (Incendios forestales, penetraciones costeras, Inundaciones

## BIBLIOGRAFÍA.

- **Arteaga José y Durán Hernán (1995).** Perfil Ambiental de Chile Comisión Nacional del Medio Ambiente. Antecedentes y Política para su Control. Cap 9 . 157-170. pp. Chile.
- **Aspectos Geológicos de Protección Ambiental.( 1995).** Brasil,.89 pp.
- **Báscones M. Y Gallego E. (s/f):** Problemática Geoambiental y desarrollo. Tomo I. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y ordenamiento del territorio.
- **Barceló Carlos. 1995"** El ruido Urbano en Ciudad de La Habana.. Parte I. Fenómeno Físico . Serie Salud Ambiental.. Saneamiento Ambiental. INHEM. Cuba
- **Bonito Lara L. A.** "Criterios para la prevención y vigilancia de la contaminación atmosférica Urbana. "Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias".Habana.1991.
- **Busquet, E; Casas, A; Pinto, V; et. al.; (1996):** Geofísica Ambiental: técnicas no destructivas para el reconocimiento de zonas contaminadas por vertidos; Acta Geológica Hispana, V. 30, No. 1-3, pp. 73-82.
- **Bustos, Miguel; Pérez, Ana Gloria; (1999):** La comunidad sustentable. Participación, Educación y Gestión Ambiental Comunal. Grupo para el Desarrollo Integral de la Capital, La Habana, 50 pp.
- **Calderon Carlos, et all,( 1995).** Salud Ambiental y Desarrollo, 128 pp.Colombia.
- **Cendrero. A. Et all ( 1999).** Geología y ordenación de espacios litorales, análisis de casos. Separata. España.
- **Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba. (1985).** "Contribución a la Geología de las Provincias de la Habana y Ciudad de la Habana". Editorial Científica, Ciudad de La Habana, Cuba.
- **Instituto de Geografía Tropical. (IGT). (1989).** "Nuevo Atlas Nacional de Cuba", 200 pp.
- **Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba ( 1995)"**Contribución a la Geología de las Provincias de la Habana y Ciudad de la Habana.". Editorial Científica, Ciudad de La Habana, 1985.



## **DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ESTABILIDAD ECOLOGICA EN EL SUR Y ESTE DE CIUDAD DE LA HABANA, HERRAMIENTA ESENCIAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE.**

**Deysy De la Nuez, Nyls Ponce Seoane, Dalia Carrillo Pérez**

IGP Vía Blanca y Línea del Ferrocarril San Miguel del Padrón C. Habana. E-mail [deysy@lacemi.cu](mailto:deysy@lacemi.cu)

### **RESUMEN**

Dentro del estudio de los problemas ambientales, la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite obtener un mejor resultado de la información. El SIG – CARIS resultó altamente eficaz para generalizar los mapas de uso y ocupación de los municipios capitalinos Arroyo Naranjo, Boyeros, San Miguel del Padrón, Cotorro, Habana del Este, Regla y Guanabacoa, lográndose así un mapa único, muy informativo para las entidades interesadas en el mejoramiento territorial y la toma de otras acciones.

Partiendo de esta base se obtiene el Mapa de estabilidad Ecológica en el cuál las áreas naturales abarcan solamente el 13%, ocupando las seminaturales y tecnógenas el 40% y 47% respectivamente, del área total. En cuanto al coeficiente de estabilidad ecológica, se considera bajo en el rango comprendido <1-1.99; 2-2.99 medio; 3-9.99 alto y >9.99 muy alto. En nuestro caso el coeficiente de estabilidad es bajo (1.1) y se pronostica una tendencia a la disminución del mismo, debido a que el incremento de las actividades socioeconómicas previstas se hará a expensas de las áreas que ahora ocupaban los geosistemas más estables, es por eso que resulta necesario fomentar el desarrollo de áreas verdes en nuestra ciudad y mantener una correcta planificación del uso de cada territorio, para mantenernos en equilibrio con la naturaleza y de esta forma mejorar la calidad de vida de nuestro pueblo sin comprometer a las futuras generaciones.

### **ABSTRACT**

When study environmental problems, Geographic Information Systems allow to get a better result of data. GIS "CARIS" resulted in highly efficient tool for generalizing territory use maps of the capital municipalities: Arroyo Naranjo, Boyeros, San Miguel del Padrn, Cotorro, Habana del Este, Regla y Guanabacoa, reaching a unique map, very updated for interested entities, dealing with territorial improvement and actions taking.

On this basis, the ecologic stability map is obtained, where natural areas cover only 13 %, being 40 % - 47 % seminaturals and tecnogens, respectively, from the total area. As for the ecologic stability coefficient, is considered low (with a rate < 1-1,99); medium (2-2.99), alto (3-9.99) and very high (> 9.99). In our case the stability coefficient is low (1.1) and so a tendency to coefficient decrease its forecast, due to the increase of socio-economic activities before hand will be done depending of areas, that at present occupy more stable geosystems. That s why it is needed to encourage the development of green areas in our city and to continue a suitable planning of the each territory use, to keep us in equilibrium with nature, improving life quality of the people, without compromising the future generations



## INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo y subsistencia de la humanidad, es vital la utilización de los recursos naturales: aire, agua, suelo, flora, fauna, paisaje, recursos minerales y superficie terrestre.

La Geología Ambiental ha surgido como una rama de la geología y como un método más específico de estudio del medio ambiente. Esta consiste en la aplicación de los principios y conocimientos geológicos a los efectos producidos por la interacción del hombre con el entorno natural.

La finalidad de esta investigación, es lograr una valoración lo más objetiva posible, de las condiciones geólogo-ambientales del territorio para lograr un mejor desarrollo del Sur y Este de la capital en donde se encuentran comprendidos los municipios Arroyo Naranjo, Boyeros, San Miguel, Cotorro, Habana del Este Regla y Guanabacoa,

El área de estudio abarca 586.5 Km<sup>2</sup>, se encuentra ubicada en la provincia de Ciudad de la Habana, la misma contiene una población de 943 339 habitantes con una densidad de población de 1 608.4 habitantes x Km<sup>2</sup> y se encuentra conformada por 49 consejos populares. Al norte limita con el Golfo de México, al sur y este con la provincia La Habana y al oeste con los municipios capitalinos Habana Vieja, 10 de Octubre, Cerro, Marianao y la Lisa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para generalizar el mapa de uso y ocupación del territorio se utilizaron los mapas de cada uno de los estudios integrales de los municipios a estudiar, y posteriormente se empleo la tecnología SIG-CARIS según la metodología usada en De la Nuez, D. 2001. en la que se realizaron IV etapas: Entrada de datos, Transformación Digital, Generalización de la Información y Mapas Resultantes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Mapa de uso y ocupación del territorio*

Para confeccionar este mapa se señalaron todas la infraestructuras, áreas de servicio, áreas rurales, áreas urbanas, áreas sociales, áreas agrícolas y las zonas industriales presentes en el área de estudio. Las mismas fueron capaces de describirse gracias a un manual de símbolos convencionales los cuales se emplean en el Departamento de Geología ambiental del IGP.

Este mapa es de suma importancia para todos los organismos interesados en el mejoramiento territorial y para cualquier toma de decisión ya que el mismo muestra la ocupación y el uso del suelo, así como la capacidad de su mejoramiento y protección (ver figura 1)

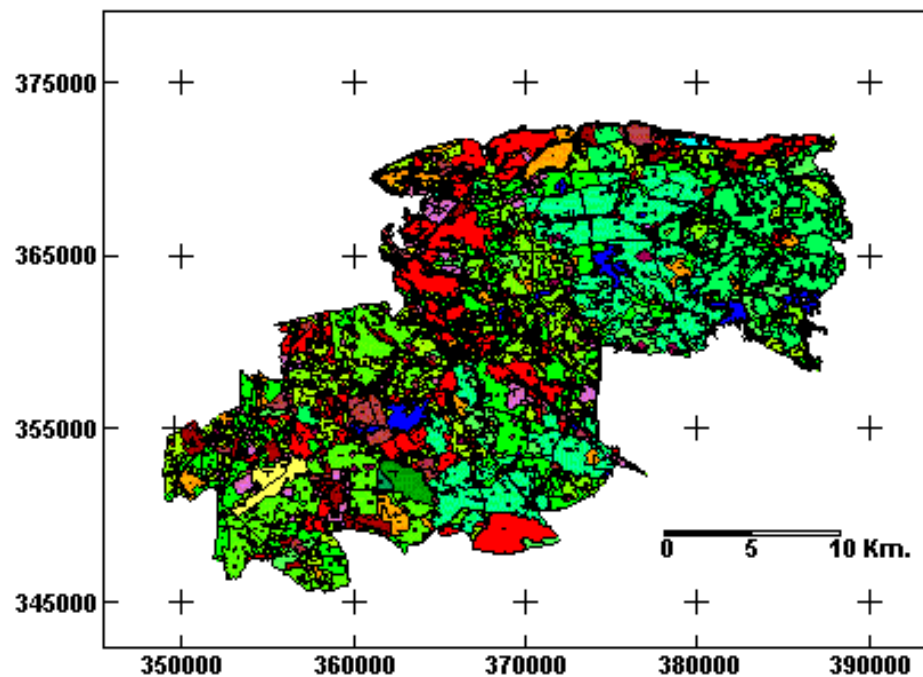


Figura. 1 Mapa de Uso y Ocupación del área



## **Mapa de estabilidad ecológica.**

**Estabilidad ecológica:** Es la capacidad de un geosistema de mantener su equilibrio y estabilidad, mediante los mecanismos autorreguladores naturales ante cualquier tipo de impacto. (Bucek 1989).

**La más alta estabilidad ecológica estará usualmente en aquellos geosistemas cuyas condiciones se encuentren más próximas a las naturales, con alto grado de diversidad de especies y riquezas de las formas de vida.**

El paisaje con una estabilidad ecológica alterada se torna un factor limitante para el desarrollo económico y social.

**Índice de estabilidad ecológica (Ce): Es la medida de la resistencia contra los efectos dañinos de carácter tanto natural como antropógeno**

La estabilidad ecológica y su coeficiente indican la medida de la resistencia de un territorio determinado contra los efectos dañinos de los impactos. La misma debe ser parte integrante de la planificación territorial por su importancia para el desarrollo económico y social, así como para la conservación de una verdadera productividad y una óptima estabilidad ecológica.

A partir de esta definición para el estudio y caracterización del medio ambiente es necesario tener en cuenta los procesos de interrelación entre las diferentes unidades funcionales que caracterizan área investigada, lo que permite analizar el estado actual del entorno.

En nuestra área partimos sobre la base del Mapa de Uso y Ocupación para la confección del Mapa de Estabilidad Ecológica, que junto con el coeficiente de estabilidad ecológica, reflejan el estado actual del medio ambiente de una región dada .

En el Mapa de Estabilidad Ecológica se distinguen las zonas antropizadas, las seminaturales y las naturales según Bucek (1989) ver figura 2.

### **Zonas antropizadas o tecnógenas**

Se agruparon las áreas que pertenecen a esta zona, las mismas son: Instalaciones urbanas, suburbanas, sociales, servicios, especiales, industriales, mineras, ganaderas, agropecuarias, cementerios, insalubres, vertederos, almacenes, puertos, instalaciones de ExpoCuba y del Aereopuerto

### **Zonas seminaturales**

En estas zonas se incluyeron las áreas de: Pastos, cultivos varios, terrenos baldíos, terrenos baldíos pantanosos, presas, áreas de uso agrícola, instalaciones del Jardín Botánico Nacional y del Zoológico Nacional

### **Zonas naturales**

La misma se encuentra conformada por: plantaciones frutales, bosques, arrecifes, playas, zonas inundables.

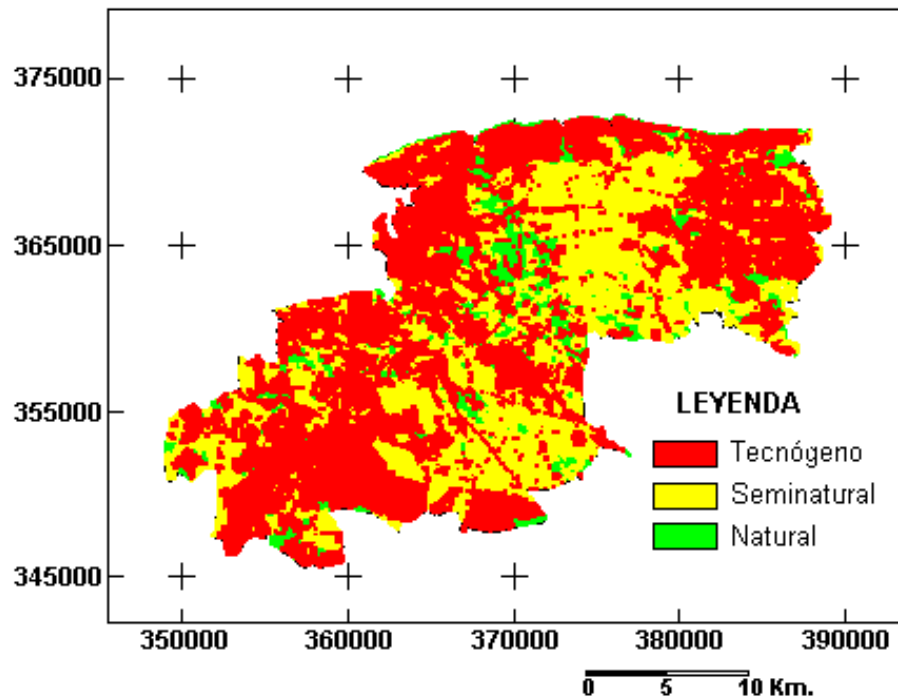


Figura 2. Mapa de Estabilidad Ecológica del área.

A partir de estas tres zonas se calculó el coeficiente de la estabilidad ecológica (Ce). Para calcular dicho coeficiente, se determinó por el SIG CARIS mediante el módulo Caris Manager with Zones/ Map query/by zone, el área de las zonas que corresponden a las áreas de estabilidad (Ae) e inestabilidad (Ai) ecológicas respectivamente.

El área de la estabilidad ecológica relativa se corresponde en este caso con las áreas seminatural y natural de la zona de estudio.

Así tenemos que:

Ae (natural + seminatural) = 7376ha + 23463 ha

Ai (área antropizada) = 27561 ha

De donde:  $Ce = \frac{Ae}{Ai} = \frac{30839}{27561} = 1.11$

Según Bucek (1989), se considera un coeficiente de estabilidad de:

<1 – 1.99 Bajo

2 - 2.99 Medio

3 – 9.99 Alto

>9.99 Muy alto.

Las áreas naturales abarcan solamente el 13%, ocupando las seminaturales y tecnógenas el 40% y 47% respectivamente, del área total con un coeficiente de estabilidad bajo (1.1) y se pronostica una tendencia a la disminución del mismo, debido a que el incremento de las actividades socioeconómicas previstas se hará a expensas de las áreas que ahora ocupaban los geosistemas más estables, es por eso que resulta necesario fomentar el desarrollo de áreas verdes en nuestra ciudad y mantener una correcta planificación del uso de cada territorio, para mantenernos en equilibrio con la naturaleza y de esta forma mejorar la calidad de vida de nuestro pueblo sin comprometer a las futuras generaciones



## CONCLUSIONES

1. Por primera vez se obtiene de forma generalizada los mapas de Uso y Ocupación del Territorio y Estabilidad Ecológica para el área de estudio a escala 1:100 000.
2. Se determinó un índice de estabilidad ecológica bajo, por lo que debe prestársele mucha atención a la hora de establecer los planes de planificación económico y social del territorio.
3. Se observa una proyección irracional de los usos y ocupaciones de los territorios en el área, predominando los sistemas inestables, los que influyen en el desequilibrio ecológico del paisaje cultural.
4. La tecnología SIG, resultó una herramienta útil para la captura, representación y análisis de los datos, lográndose una representación cartográfica de calidad en los resultados.

## RECOMENDACIONES

1. Las Direcciones Municipales deben tener en cuenta que el índice de estabilidad ecológica no continúe decreciendo, debido a que el mismo es un factor limitante para el desarrollo económico y social.
2. Generalizar los mapas de Recursos Minerales, Amenazas Geológicas y Aptitud del Territorio, utilizando el SIG – CARIS, para obtener un estudio geólogo ambiental integral del área de estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barrientos, A., Carral, R., Gil, S., Pérez, R., Stout, R., Triff, J., Ponce, N., Rivada, R., García, M., Strazhevich, V., Castellanos, A., Díaz Comesañas, J., González, A. 1998. Estudio Geólogo ambiental Integral del municipio Boyeros. Archivo IGP.
- Bucek, A. 1989. Aseguramiento territorial de la estabilidad ecológica y sus condiciones en Cuba. En Unidad Hombre Naturaleza. Editorial Academia.
- Cañete, C., Carral, R., Díaz Comesañas, J.L., García, M., Pérez, R., Ponce, N., Rivera, C., Strazhevich, V. 1994. Estudio Integral Geólogo Ambiental del municipio San Miguel del Padrón. Archivo IGP.
- Cañete, C., Ponce, N., Díaz Comesañas, J., Pérez, R., Carral, R., Batista, R., Cabrera, M., Rivada, C., Castillo, Y., Strazhevich, V., Castellanos, E. 1995. Estudio Integral Geólogo Ambiental del municipio Habana del Este. Archivo IGP.
- Cañete, C., Ponce, N., Díaz Comesañas, J., Pérez, R., Triff, J., Correa, G., Rodríguez, B., Muñiz, O., Barrientos, A., Strazhevich, V., Gil, S., Rivada, R. 1997. Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Guanabacoa. Archivo IGP.
- Caris, User's Guide, Universal Systems Ltd. 1995, v.1-1, v.1-2, v.2-3, v.2-2, v.2-1, v.2-8, v.2-4, v.2-5, v.2-8, v.3-3.
- Correa, G., Gil, S., Castillo, Y., Rivada, R., Rodríguez, J., Díaz, J., Pérez, R., Triff, J., Ponce, N., Regalado, R., Batista, R., Strazhevich, V., Montero, M. 1998. Informe del Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Arroyo Naranjo., Archivo IGP.
- De la Nuez, D. 2001. La Estabilidad Ecológica en el sur y este de la Capital. Tesis en opción al grado de Máster en Ciencias. Universidad de Pinar del Río.
- Gil, S., Castellanos, A., Castillo, Y., Ponce, N., Rivada, R., Pérez, R., Díaz Comesañas, J., González, A., García, M., Triff, J., Strazhevich, V., Reyes, Y., Ulloa, M., Núñez, A., Correa, G., Barrientos, D., Sánchez, P. 1998. Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Cotorro. Archivo IGP.
- NCGIA. 1990. Introduction to GIS. En: Cure Curriculum. V.1, Santa Bárbara, Cal National Center for Geographic Introduction and Analysis, University of California.
- Toropchanina, S., Corbea, González, V., Padilla, I., Pérez, R., Triff, J., Strazhevich, V. 1998. Estudio Geólogo Ambiental Integral del municipio Regla. Archivo IGP.
- Ulloa, M., Núñez, A. 1998. Aplicación de un SIG al estudio geólogo ambiental territorial del municipio Cotorro. Tesis de Grado. Universidad de Pinar del Río.

## **METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS PARA LA REORDENACIÓN FORESTAL A LAS EMPRESAS DEL MINISTERIO DE LA AGRICULTURA**

Ing. María Caridad Aguller Martínez, Ing. Tania Guevara Montero, Ing. Antia Luna Vázquez, Ing. Esmérida Llull García

*Empresa Geominera de Oriente*

La reordenación forestal es un programa de vital importancia para nuestro país que se lleva a cabo por el Ministerio de la Agricultura hasta el año 2005, en el que se ha insertado nuestra Empresa por el desarrollo mostrado en la preparación de su personal y medios automatizados, realizándose contratos a Empresas de la Agricultura desde el año 2002, tales como:

- Empresa Forestal Integral Gran Piedra (concluido el contrato)
- Empresa Forestal Integral Mayarí (fase de terminación)
- Empresa Forestal Integral Guamá. (fase de preparación de los trabajos de campo).
- Empresa Forestal Integral Sierra Cristal. (fase de preparación de los trabajos de campo).
- Empresa Forestal Integral Sagua-Moa (fase de preparación de los trabajos de campo).

Por la importancia de este trabajo se ha creado una metodología la cual constituye una herramienta muy importante para las Empresas Forestales permitiendo un manejo rápido de la información, disminuyendo el tiempo para la elaboración de la misma y aumentando la calidad de los resultados. La información que se presenta está preparada para ser manejada por un Sistema de Información Geográfica, y podrá ser actualizada cada vez que se necesite.

## **CARACTERÍSTICAS GEÓLOGO-GEOMORFOLÓGICAS DE COSTAS CUBANAS. INCIDENCIA EN LA VULNERABILIDAD DE ESTAS Y SU DINÁMICA LITORAL**

Mercedes Toledo (1), Hilda M. Alfonso (1), Fabián Piedra (1), Lourdes Díaz (1), Belkys Molina (1), Miguel Ribot (1), Sahily Matousek(1), Hazel Carrasco (1), Marcelino Hernández (2), Idania Hernández (3), Jorge L. Chang (4)

(1) *Instituto de Geografía Tropical*

(2) *Instituto de Oceanología*

(3) *Empresa Geocuba Geodesia*

(4) *Instituto de Geología y Paleontología*

La zona costera es un territorio complejo desde el punto de vista geodinámico al ser transformado tanto por la acción de procesos marinos como de terrestres, así como por ser territorios relativamente menos consolidados geológicamente pudiendo presentar movimientos de reajustes. Por su cercanía al mar son los territorios más expuestos a la influencia de los peligros hidrometeorológicos y a los efectos de los cambios climáticos

El objetivo de esta investigación es conocer la influencia geológica en la morfología de las costas y la vulnerabilidad de estas ante los peligros hidrometeorológicos. Se realizó un análisis geomorfológico estructural de las costas exceptuando la provincia de Pinar del Río. Se estudió la relación de las estructuras tectónicas con las formas de relieve, los procesos activos y el tipo de costa.

Se constató que las costas altas acantiladas están presentes en la costa septentrional y meridional de bloques hórsticos y semigrabens. En ellas predominan rocas más resistentes que en las costas bajas y pantanosas. Estas por su parte se encuentran en graben a excepción de las del bloque hórstico Camagüey, sus perfiles litorales son más suaves, presentan mangles y cayos.

Consideramos que las costas altas están más protegidas ante los peligros hidrometeorológicos. No obstante en las costas bajas los mangles y los cayos así como el perfil litoral más suave representan una protección natural para sus ecosistemas, lo cual revela una mayor importancia para su protección y para el desarrollo sostenible de estos territorios.



## ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA MINA A CIELO ABIERTO “COLINA” Y LA PLANTA DE CARBONATO “COCO PEREDO”.

**Adelaida Castellanos Silvé**n, Nyls Ponce Seoane, Jorge L. Díaz Comesañas y Ramón Rivada Suárez.

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de La Habana, Cuba. Telf. 55 72 32 Fax. 55 70 04 e-mail: [mambiente@igp.minbas.cu](mailto:mambiente@igp.minbas.cu)*

### RESUMEN

La mina a cielo abierto Colina se ubica en el municipio de San José de las Lajas, provincia de La Habana. Por el tipo de explotación que se lleva a cabo en la misma se hizo necesario un estudio ambiental de su enclave y su área de influencia, para ayudar a mitigar los impactos causados al medio ambiente y mejorar la calidad de vida de los trabajadores y pobladores.

Producto del desarrollo de actividades de extracción y de beneficio del mineral carbonato de calcio, se genera la emisión de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que provoca la degradación visual del paisaje, eliminación de los suelos de uso productivo y la alteración del medio ambiente.

Dentro de las investigaciones realizadas se llevaron a cabo recorridos de campo para la toma de muestras de agua, realización de encuestas, observaciones y descripción del medio ambiente abiótico (geología, geomorfología, suelos, clima, aguas superficiales y subterráneas), biótico (vegetación, recursos forestales y vida animal) y del ambiente socio económico cultural.

Como resultado de los trabajos se elaboró un informe donde se realizó la identificación, caracterización y evaluación de los impactos provocados por la minería a cielo abierto sobre los elementos de su entorno y de los ecosistemas presentes en general. Se confeccionaron mapas especiales sobre la vegetación, los suelos, uso y ocupación y otros, además se recomiendan medidas de mitigación y rehabilitación.

### ABSTRACT

The open pit Colina mine is located in the municipality of San José de las Lajas, Havana Province . For the kind of exploitation carried out it was necessary the environmental study of its position and area of influence, to help mitigate the impacts upon the environment and improve the quality of life of workers and inhabitants.

Due to the development of activities of extraction and of the benefit of the calcium carbonate mineral, it is generated the emission of solid, liquid and gaseous remains that gives way to the visual degradation of the landscape, elimination of soils of productive use and the alteration of the environment.

During the investigations performed field work were carried out to take samples of water making of interviews, observations and description of the abiotic environment (geology, geomorphology, soils, climate, superficial and underground waters), biotic (vegetation, forest resources and animal life) and the cultural socio economic environment.

As a result of the works, a report was elaborated to carry out the identification, characterization and evaluation of the impacts provoked by mining to open pit upon the environmental elements and the ecosystems present in general. Special maps were made about vegetation, soils, use and occupation and others, besides, measures of mitigation and rehabilitation are recommended.

### INTRODUCCION

La mina de carbonato de calcio “Colina” se comenzó a explotar antes del triunfo de la Revolución y debe el nombre, que se ha conservado hasta el presente, a su antiguo dueño.





Para el estudio del impacto ambiental se partió tanto del área de la explotación minera propiamente dicha, como de su área de influencia, determinada conforme a los factores allí existentes, delimitada por las siguientes coordenadas Lambert:

$X_1 = 386\ 000$	$X_2 = 388\ 000$	$X_3 = 386\ 000$	$X_4 = 388\ 000$
$Y_1 = 354\ 400$	$Y_2 = 354\ 400$	$Y_3 = 356\ 400$	$Y_4 = 356\ 400$

El área investigada está ubicada en la provincia de la Habana, en el municipio San José de las Lajas y situada en la carta topográfica 3785-II-d-4 a escala 1: 10 000, abarcando una superficie de aproximadamente 4 Km<sup>2</sup>. El área de la cantera tiene una superficie de 545 000 m<sup>2</sup> y la de la planta Coco Peredo con un área de 3.6 ha.

Como límites naturales se encuentran al norte las elevaciones de Tapaste, al sur las elevaciones de Cheché, al este las elevaciones de Beluca o Bonilla y al oeste las elevaciones de Santana.

El relieve se caracteriza por un desarrollo sobre rocas carbonatadas presentando elevaciones carsificadas y llanuras altas interiores también carsificadas.

La economía de la zona es fundamentalmente ganadera, excepto pequeñas parcelas individuales que se encuentran distribuidas irregularmente por toda el área.

La principal vía de acceso es la carretera de Tapaste a Jaruco y su ramal que es la carretera que va a las Escaleras de Jaruco.

El tendido eléctrico de mayor voltaje es de 33 kv, la cual llega al yacimiento procedente de Jaruco, existiendo tendidos eléctricos de menor voltaje en las vaquerías y caseríos.

La región es eminentemente cársica y debido a las rocas carbonatadas existentes, el escurrimiento superficial es muy pobre. No existen cauces desarrollados, observándose solo aguas de arroyada y un pozo en el que se encuentra el agua a una profundidad de 125 metros. El yacimiento Colina presenta alta cantidad de la roca carbonatada, que se refleja en los contenidos químicos promedio ponderados de esta roca que son los siguientes:

Calidad de la materia prima

CaCO <sub>3</sub>	99,25%
MgO	0,13 %
F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,011%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1%
SO <sub>3</sub>	0,01%

Los valores promedio de sus propiedades físicas son:

Brillantez	89,30%
Densidad aparente	1,85%

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados fueron las referencias bibliográficas, mapas especializados de la zona y una computadora para el manejo de la información.



Se realizaron recorridos de campo, se procesó la bibliografía consultada, se tomaron muestras de agua, se llevaron a cabo encuestas a los trabajadores y pobladores, para poder valorar la contaminación en el área.

## RESULTADOS

Como resultado se obtuvo un informe final donde se identificaron, caracterizaron y evaluación de los impactos provocados por la minería a cielo abierto sobre los elementos de su entorno. Se confeccionaron mapas de vegetación, suelo, uso y ocupación, geología y geomorfología. Se recomiendan medidas de mitigación, rehabilitación, control y monitoreo.

## DISCUSIÓN

La mina a cielo abierto "Colina" tiene un área de 544 330 m<sup>2</sup>, proyectándose su explotación hasta 50 m. Existe un proyecto de explotación elaborado por la Empresa de Proyectos Mineros (PROYEST).

La capacidad de extracción planificada fue desde 68 000 hasta 110 000 t/año y la vida de la mina proyectada fue desde 7,8 años hasta 12,5 años respectivamente de acuerdo con la extracción.

La cantera del yacimiento Colina se explotaba desde antes de 1959, pero sin la guía de un proyecto minero para su explotación. En la actualidad este yacimiento está de acuerdo con el proyecto que consistió en proyectar cinco escalones de extracción con una altura promedio de 10 m. entre las cotas +225 y +265 m. El talud de los bancos es de 1.75°. El talud general de la mina es como promedio 59°, el cual varía en dependencia de la zona de explotación.

### Medio Ambiente Abiótico

#### Geología.

Basándonos en el mapa del levantamiento geológico a escala 1: 250 000 de las provincias de La Habana realizado en el año 1977 por Albear e Iturralde y en los diferentes estudios geológicos realizados en la región se elaboró la geología del yacimiento y sus áreas aledañas. (IGP 1986, 2004)

En el área de los trabajos aparecen rocas carbonatadas miocénicas de las Formaciones Colón y Güines. Las rocas de la Formación Güines sobreyacen a las rocas de la Formación Colón en forma de casquetes carsificados. La Formación Colón sobreyace discordantemente a las rocas del Mioceno y más viejas. Además de las rocas miocénicas están presentes las rocas terrígeno-carbonatadas del Paleógeno de las Formaciones Vía Crucis, Capdevila y Universidad, así como las rocas vulcanógeno-sedimentarias y magmáticas del Cretácico integrado por las Formaciones Chirino, La Trampa y Vía Blanca.

#### Formación Guines:

Está formada por calizas arcillosas, margas y calizas organógenas carsificadas, las que aparecen en forma de casquete en las elevaciones mogotiformes. Su edad es Mioceno-Inferior a Mioceno-Medio.



#### **Formación Colón:**

Se compone de calizas organógenas y detríticas, calizas detríticas, calizas arrecifales biohérticas por lo general de color brillante con yacencia horizontal. Su edad es Mioceno-Inferior. Las calizas de esta formación son las que componen el paquete útil rico en carbonato de calcio presente en el yacimiento.

#### **Tectónica:**

El área de la investigación se encuentra enmarcada dentro del bloque Habana que es de una morfoestructura del tipo Horst que comprende las lomas de Cheché y Tapaste. La misma está formada por rocas carbonatadas y terrígeno-carbonatadas de la cobertura.

Al suroeste del yacimiento se observa una falla de plumaje con dirección principal noreste-suroeste. Un brazo de esta falla atraviesa el yacimiento en dirección noroeste-sureste y su influencia en el yacimiento se constata por las impregnaciones de óxido e hidróxido de hierro dejados por las aguas de infiltración. Estos sistemas son jóvenes y locales, ya que con las rocas miocénicas los escarpes de los mogotes delimitan el yacimiento. Estos escarpes son tectónicos.

#### **Geomorfología.**

La zona de estudio se caracteriza por presentar un relieve de alturas con elevaciones que oscilan entre los 170 y 285 metros y pendientes que varían desde 1° hasta los 60°.

Según Alfonso (1977), la génesis del relieve se corresponde con las Alturas Tectónicas Estructurales de Horst y Bloque Carsificado del N<sub>2</sub>-Q. Las formas del relieve existentes en esta área se expresan como alturas residuales y superficies de nivelación con valores de 40 y 80 m respectivamente y la superficie de base local.

En la zona de estudio se aprecia un gran contraste del relieve, por un lado las alturas descritas con anterioridad con aspecto mogotiforme y cimas estrechas y un valle entre estas elevaciones que representa la superficie de base local, formado como resultado de la combinación de los procesos cársico-erosivos. Se aprecian también cañones y cauces con cursos rectos en las direcciones NW-SE y NE-SW, lo cual lo cual sugiere un control tectónico de los mismos.

Los procesos morfodinámicos que mayor influencia tienen en la región están relacionados con los denudativos-cársicos, los cuales se intensifican en la porción más elevada y agrietada del territorio. En las superficies más aplanadas, como las cimas y las superficies elevadas, se acumulan arcillas rojas, las cuales se trasladan por las superficies del relieve y el agrietamiento de las rocas, (Alfonso, 1977).

Próximo a las áreas con valores de pendientes superiores a 30° y en los cañones cársicos, se manifiestan procesos graviclásticos, que se ven favorecidos por las explosiones que ocurren eventualmente en la cantera.

Las alturas residuales se sitúan en la parte sur occidental (ver figura 2) con cimas alargadas y estrechas con alturas entre 207 y 239 m., con laderas abruptas y pendientes de 30° y superiores. La forma de estas alturas es alargada sobrepasando de 1 a 4 veces su ancho.

La superficie base o valle ocupa la parte central y su cota varía entre los 170 y 204 m. con pendientes menores de 5°.



## **Suelos.**

En la zona existen cuatro tipos de suelos: los ferralíticos rojos típicos, los ferralíticos rojos compactados, los esqueléticos naturales y pardos con carbonatos.(ICGC, 1986)

### **1. Ferralíticos Rojos Típicos:**

Estos suelos se encuentran sobre calizas duras siendo su profundidad pedológica profunda y muy profunda. Son suelos saturados y medianamente saturados, estando medianamente humificados (2-4 %) y humificados (4-6%). La erosión es del tipo laminar, pero poca. Su textura es arcillosa y su profundidad efectiva es de 183 cm., con un relieve casi llano. Se ubican en el centro sureste y centro suroeste de la zona.

### **2. Ferralítico Rojo Compactado.**

Es un suelo sobre caliza dura, compactado, con una profundidad pedológica (suma de la profundidad del horizonte A y B) muy profunda, medianamente humificado y poco erosionado. Su textura es fundamentalmente arcillosa. Su profundidad efectiva (profundidad hasta donde se desarrollan las raíces sin impedimento) es de 200 cm, son de un relieve casi llano y se ubican en el centro sur.

### **3. Esqueléticos Naturales.**

Son suelos sobre calizas duras, con muy poca profundidad pedológica y efectiva, muy poco humificado y erosión muy fuerte (pérdida de su horizonte B de 25-75%), extremadamente rocoso (más del 50% del área cubierto de roca), el relieve es alomado. Estos suelos se encuentran fundamentalmente al noroeste de la zona.

### **4. Pardos con Carbonatos.**

Son suelos arcillosos carbonatados desarrollados sobre calizas suaves y areniscas calcáreas. Su color es pardo a pardo oscuro; poco y medianamente profundo, con poco o mediana humificación y se ubican en el noreste de la zona.

## **Clima.**

Según el nuevo Atlas Nacional de Cuba (1989) la zona de la investigación tiene un clima subtropical de altura con humedecimiento estacional, relativamente estable, con altas temperaturas y evaporación. Las precipitaciones medias oscilaron entre 1200-1400 mm. En el período seco fueron de 400 a 600 mm.

El escurrimiento fluvial es de 200 a 400mm. El componente superficial del escurrimiento es de 50 a 100mm y el subterráneo es de 100 a 200mm.

Los vientos predominantes son del Noreste al Este y la velocidad media del viento es de 13 a 15.9 Km/h.

La zona estudiada se encuentra dentro de la zona occidental de nuestro archipiélago, la cual ha sido atravesada por la trayectoria de numerosos huracanes de gran intensidad.



## **Aguas superficiales y subterráneas**

Características hidrogeológicas e hidrológicas del área de estudio.

El área de estudio está constituida por elevaciones de calizas organógenas detríticas con poco tectonismo de la Formación Colón, con casquetes muy localizados de la Formación Güines. Esta peculiaridad presente en el área nos ha permitido conocer desde el punto de vista hidrogeológico que no existe una complejidad del agua subterránea a la hora de la explotación de la cantera, ya que los niveles estáticos, según pozos perforados presentan niveles de 90 y 85 metros respectivamente.

La alimentación de las aguas subterráneas está dada por la infiltración de las precipitaciones, principalmente en los períodos lluviosos, siendo el caso el ciclo genético de infiltración, enmarcándose el área en la cuenca hidrogeológica Manpostón-Jaruco, donde las aguas se acumulan en la estructura Sinclinal del Neógeno, la cual yace sobre los depósitos del Paleógeno y el Cretácico superior. En las zonas más elevadas el espesor de la capa de circulación puede variar hasta los 100 metros; esto puede observarse en el pozo ejecutado en la planta Roberto Coco Peredo, donde las productividades máximas alcanzadas en esta roca oscilan entre 10 y 15 l/seg.

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis químicos realizados a dos muestras de agua según su composición, se clasifican del tipo hidrocarbonatadas cálcicas.

Hidrológicamente el área se caracteriza por no presentar cursos superficiales, observándose algún escurrimiento en época de lluvia (de 15 a 20 mm, según Atlas Nacional de Cuba).

Atendiendo a la morfología del relieve las aguas de escorrentía presentan una tendencia del movimiento hacia la cantera lo cual podría afectar en cierta medida la explotación del yacimiento. Hasta el momento esto no ha ocurrido debido a la forma de explotación por cota y piso.

## **Medio ambiente biótico.**

### **Vegetación y recursos forestales.**

La vegetación original es de Bosques Semidecíduos y Mesófilos formada por un estrato arbóreo, un estrato arbustivo y en algunos lugares un estrato herbáceo. Esta vegetación está medianamente degradada y en algunos casos degradada y reconstruida (con repoblación), los fitorecursos son medicinales y maderables. Existen especies de interés botánico.

### **Vida animal.**

La actividad humana ha afectado tanto a los bosques como a la vida animal. La zona estudiada posee fauna típica del tipo de bosque anteriormente señalado, la cual está presente en las alturas y mogotes. Dentro de esta fauna encontramos carpinteros, murciélagos, hormigas, lagartos, mancaperos, mariposas, abejas, etc. En la parte llana existen animales introducidos por el hombre como el ganado vacuno, caballar, aves de corral y otros animales domésticos.



### **Uso y ocupación del terreno.**

El área de estudio, incluyendo el yacimiento, es un área rural; solo presenta el pequeño caserío de Mendoza y algunas casas cercanas a la planta. Presenta áreas agrícolas, forestales (repobladas), ganaderas y de auto consumo. Estas tierras pertenecen a una UBPC

Partiendo de todo esto se delimitaron los siguientes tipos de uso y ocupación en el territorio:

- Áreas suburbanas: Asentamiento con patios y pequeñas parcelas. Son núcleos poblacionales pequeños (Mendoza).
- Área minera: Es el área que ocupa la cantera de donde se extrae el carbonato de calcio.
- Área industrial: Es la que ocupa la planta Coco Peredo, ubicada en una zona aledaña a la cantera.
- Tierras de cultivos permanentes: Son las que ocupan los pastos naturales y artificiales.
- Tierras de cultivos temporales: Las constituyen los autoconsumos estatales y particulares, donde se cultivan viandas, hortalizas y frijoles principalmente.
- Terrenos baldíos o sin uso determinado: Son los que están relacionados con la antigua explotación, estando cubiertos por vegetación arbustiva y maleza.
- Viales: Por la parte oeste del yacimiento pasa la carretera de Tapaste a Jaruco y al norte del mismo caminos secundarios que conducen a diferentes lugares de la zona.

### **Ambiente socio económico-cultural**

Cerca del área de influencia del yacimiento y la planta se encuentra el poblado de Mendoza, donde viven 373 pobladores, que residen en 35 viviendas y un edificio.

En la actividad minera laboran en total 130 trabajadores, de los cuales 104 son del sexo masculino y 26 mujeres. A la actividad productiva se dedican 116 trabajadores y 14 pertenecen a la administración y los servicios. La capacidad técnica de esta industria está representada por 9 técnicos superiores, 19 técnicos medios y 61 obreros calificados.

La mayoría de los trabajadores (88%) viven cerca de la zona minera y esto está motivado por dos causas; el efecto social de la ubicación de la planta que proporciona empleo a una parte de la población cercana, del municipio principalmente, y las medidas adoptadas por la dirección de la actividad minera como ha sido la construcción de viviendas para sus trabajadores, así como facilitar la compra de materiales para la reparación.

### **IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS CAUSADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA DESARROLLADA.**

En esta parte de la investigación se identificaron y evaluaron los impactos causados a los componentes del medio ambiente por las acciones de la minería.

Esta identificación y evaluación implican la valoración cualitativa y cuantitativa de los daños causados (directos e indirectos) y las consecuencias de la intervención humana dentro del medio.

A continuación se exponen los componentes del medio ambiente analizados y las acciones que han actuado sobre ellos.

Componentes del Medio Ambiente.	Acciones
I. Calidad del aire	a. Transporte





- |                                |                           |  |
|--------------------------------|---------------------------|--|
| II.                            | Escurrimiento superficial | b. Caminos y Vías de acceso              |
| III.                           | Relieve                   | c. Planta de trituración y procesamiento |
| IV.                            | Suelos                    | d. Destape y desbroce                    |
| V.                             | Substrato rocoso          | e. Explosiones                           |
| VI.                            | Vegetación                | f. Laboreos mineros                      |
| VII.                           | Fauna                     | g. Infraestructura minera                |
| VIII.                          | Uso del suelo             |  |
| IX.                            | Ruido                     |  |
| X.                             | Paisaje                   |  |
| Infraestructura socioeconómica |                           |  |
| XI.                            | Nivel de empleo           |  |
| XII.                           | Salud                     |  |
| XIII.                          | Calidad de vida           |  |

Luego de ser identificados los impactos producidos por las acciones sobre los componentes del medio, se realizó la valoración de los mismos, utilizándose diferentes indicadores y evaluándolos, demostrándose que los mayores impactos fueron causados al Paisaje, Relieve, Substrato Rocosos y Fauna. Dentro de la propia mina los más afectados son la calidad del Aire y el Paisaje. Además podemos plantear que las acciones que más afectan al medio son la Planta de Trituración y Procesamiento de la materia mineral, principal generadora de polvo y la acción de la minería con su destape y desbroce y los laboreos mineros que impactan al paisaje.

## CONCLUSIONES

La mina a cielo abierto Colina y su Planta de trituración tienen una afectación puntual desde el punto de vista de la contaminación ambiental, la cual radica en las emisiones de polvo generada por la planta, no siendo así con el impacto visual que afecta la localidad, ya que la mina se enmarca en la zona turística Escaleras de Jaruco.

Consideramos que se deben tomar medidas de mitigación, control y monitoreo durante, y una vez finalizado el proceso productivo de la mina y la planta de trituración, de manera tal que los costos de estas medidas sean los mínimos, tanto para la Empresa Extractora como para la Unión Geominera.

Las medidas de mitigación a tomar durante el proceso extractivo-productivo son:

1. Tomar las medidas tecnológicas correspondientes, en la planta de trituración y procesamiento del mineral, para la mitigación del polvo generado por esta. Se deben regar los caminos interiores con agua para también mitigar el polvo.
2. Se deben tomar las medidas de protección e higiene del trabajo correspondientes para que los trabajadores no sean afectados por los niveles de ruidos existentes durante los trabajos mineros y la planta de trituración y procesamiento del mineral.

Las medidas a tomar después de finalizada la explotación son:

1. Realizar la reposición del suelo en los lugares donde sea posible.
2. Darle uso forestal a las áreas afectadas, reforestando con las especies adecuadas.

Las Medidas de Control y Monitoreo son:



1. Continuar realizando periódicamente (una vez al semestre) los análisis de agua utilizada para resolver las necesidades vitales de los trabajadores de la mina y de la planta; supervisando así la calidad de las aguas subterráneas del lugar empleadas para el uso humano.
2. Realizar mediciones periódicas de las concentraciones de polvo en el aire para determinar el grado de afectación de los trabajadores expuestos. mientras no se hallan tomado las medidas tecnológicas adecuadas para la mitigación del polvo (cambio de los filtros en la planta).

## **BIBLIOGRAFIA.**

Alfonso, H., 1977. Estudio de Línea Base del yacimiento Colina.  
ICGC, 1986., Mapa de Suelos  
ICGC, IGT 1989. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Ciudad Habana, Cuba.  
IGP (1986). Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana.  
IGP 2004. Mapa Geológico de la provincia de La Habana.  
IGP, 2004., Contribución a la geología de las Provincias Habaneras.

## **EVALUACIÓN ESPACIAL DE LA PÉRDIDA DE SUELO: INDICADORES DE EROSIÓN HÍDRICA Y EÓLICA PARA EL VALLE DE GUASAVE, SINALOA, MÉXICO**

Mariano Norzagaray Campos (1), Yolanda Maya Delgado (2), Patricia Muñoz Sevilla (3).

(1) Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR). Carretera a Las Glorias km 1, Guasave, Sinaloa. México, C.P 81100, Tel. 01 687 22695 y 22696. E-mail: mnorzaga@ipn.mx.

(2) Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Mar Bermejo 195 Colina Playa Palo de Santa Rita. La Paz Baja California Sur, México. C.P 23090. E-mail: ymaya04@cibnor.mx

(3) Dirección de Estudios Profesionales Médico Biológicas. Edificio de la Secretaría Académica. Luis Enrique Erro s/n. Col. Zacatenco México D.F. C.P 07738. E-mail:nmunoz@ipn.mx

A partir de modelos de predicción, se evaluaron las tasas de erosión hídrica y eólica en un valle que fue deforestado desde hace 40 años para desarrollar una intensa actividad agrícola tecnificada en el noroeste de México. La metodología trata un conjunto de ecuaciones planteadas por diversos autores, basada en siete variables: PRECRE =Periodo de crecimiento (días con lluvia al año),  $A_{ll}$ =Índice de agresividad de la lluvia,  $A_v$  = Índice de agresividad del viento, E = erodabilidad del suelo, T = textura y fase, T = topografía o longitud de la pendiente y S = uso del suelo. La estimación del factor erodabilidad del suelo se hizo indirectamente a partir del conocimiento de la variación espacial de la conductividad hidráulica, considerando la transmisividad del medio y el espesor saturado determinado a través de la resistividad del medio. Se comparó con los valores obtenidos por los métodos convencionales de estimación a partir de los datos provenientes del muestreo de suelos. De acuerdo con los resultados, las tasas de erosión hídrica van de 1 a 13 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, y la erosión eólica de 4 a 28 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Por otra parte, los resultados demostraron que los valores del factor erodabilidad estimados por el método indirecto fueron coherentes con los métodos convencionales. Se concluye que para esta región, en donde la pendiente es menor a 1%, la erosión eólica es más importante que la hídrica y que el método indirecto propuesto para la estimación de la erodabilidad es útil cuando se carece de datos provenientes de muestras de suelo.



# **SOME GEOTECHNICAL PROPERTIES AND MINERALOGICAL COMPOSITION OF CHANCHAGA CLAYEY SOILS IN PAGO AREA OF MINNA, NORTH-WESTERN NIGERIA.**

**SAMSON ADELEKE OKE (1) AND JOSHUA ADEDAYO ALAO (2)**

*Department of Geology, Federal University of Technology, P. M. B. 65, Minna, Niger State, Niigeria. E-MAIL : (1) [okeadeleke@hotmail.com](mailto:okeadeleke@hotmail.com), 2) [saonecng@yahoo.com](mailto:saonecng@yahoo.com)*

SOME GEOTECHNICAL PROPERTIES AND MINERALOGICAL COMPOSITION OF CHANCHAGA CLAYEY SOILS IN PAGO AREA OF MINNA, NORTH-WESTERN NIGERIA.

## **ABSTRACT**

Ten clayey soil samples were collected at different areas within an excavated pit measuring 400m x 500m and 4m deep in plane dimension at Pago, Minna, North-western Nigeria in order to evaluate the geological materials for their suitability for various industrial applications.

Particle size analysis (sieve and hydrometer tests), Atterberg (plastic and liquid) limits, linear shrinkage, specific gravity and x-ray diffraction tests were undertaken on selected soil samples. Sieve analysis was performed with a set of sieve sizes (3.35 mm, 2.63 mm, 2.00 mm, 1.18 mm, 0.600 mm, 0.425 mm, 0.300 mm, 0.150 mm and 0.063 mm) and mechanical shaker. Hydrometer test was undertaken with a 1000 ml sedimentation cylinder and hydrometer bulb. Liquid limit test was carried out with a liquid limit device. The linear shrinkage was performed with a linear mould. Specific gravity was undertaken with a pycnometer bottle. The x-ray diffraction test was carried out with an x-ray diffractometer.

The soil is made up of clayey, silty, gravelly SAND. The coefficient of uniformity ranges from 7.5 to 33500. The liquid limit varies from 26% to 41%. The plastic limit is of the order of zero to 32%. The plasticity index lies between zero to 37% indicating low to intermediate plasticity. The linear shrinkage ranges from 2.86% to 12.86% signifying low capacity of swelling. The soil has a mean specific gravity of 2.64. X-ray diffraction (XRD) test indicates that kaolinite and illite are the major clay minerals with the later being the most prominent. Considerable amount of smectite and halloysite are present.

Based on the geotechnical characteristics and mineralogical composition of the clayey soil, it is suitable for manufacturing brick blocks, tiles, glaze products and as earth fills for construction works.

## **INTRODUCTION**

The clayey soil is located approximately at kilometer 15 along Minna-Chanchaga-Paiko road, northwestern Nigeria (fig. 1). The study region forms part of the basement complex area (Mc Curry, 1976 and Ajibade et al., 1987). Outcrops of banded gneiss, amphibolite and granite occur within the vicinity of the deposit (fig. 2).

This study focuses on the evaluation of the clayey soil samples for their clay mineralogical composition and geotechnical characteristics with a view of establishing their suitability for various industrial applications.

## **MATERIALS AND METHODS**

An area of 9km<sup>2</sup> enclosing the clayey soil deposit was mapped geologically.

Ten soil samples were collected from an existing excavation pit measuring 400m x 500m in plane dimensions and 4m deep (fig 3). About one kilogram each of the sample was collected with a shovel into a polythene bag.



All the water samples were analyzed in the laboratory of National Steel Raw Materials Exploration Agency, Kaduna, Nigeria for selected geotechnical properties and mineralogical composition. The geotechnical analysis was performed according to British standard methods of test for soils for civil engineering purposes (British Standard Institution, BS 1377: Part 2, 1990). Dry sieve and hydrometer tests were carried out in order to obtain the particle size distribution of the soil samples. Dry sieve analysis was performed with a set of sieve sizes (3.35 mm, 2.63 mm, 2.00 mm, 1.18 mm, 0.600 mm, 0.425 mm, 0.300 mm, 0.15 mm, 0.063 mm) and mechanical sieve shaker.

Hydrometer test was undertaken on soil samples that pass through 63 micrometer sieve. The analysis was performed with 1000 ml sedimentation cylinder and hydrometer bulb. Linear, liquid and plastic limit tests were undertaken on soil samples that pass through 0.425 mm sieve. Linear shrinkage was performed on soil samples to which water has been added, mixed and placed into a mould and leveled with a palette knife. The mould was placed in an oven to dry slowly. The length of the dried soil was measured after it was allowed to cool. The linear shrinkage was calculated with the use of the formular:

$$\text{Linear shrinkage (LS) \%} = \frac{\text{Old length} - \text{New length}}{\text{Old length}} \times 100$$

Liquid limit was carried out with a liquid limit device (Casagrande cup). Plastic limit test was executed by kneading and rolling soil samples between fingers and thumb into about 6 mm diameter thread. Each thread was further rolled between fingertips on a clean flat glass plate with sufficient pressure to reduce the diameter into 3 mm. At exactly 3 mm, the soil paste starts to crumble and cannot roll further. The process was repeated until longitudinal and transverse cracks appear at a rolled diameter of 3 mm. Immediately, the moisture content of the crack thread was determined. Specific gravity was undertaken with a pycnometer bottle.

X- ray diffraction test was carried out to determine the clay minerals in the soil samples. Each of the samples was grinded in a pulverizing machine into fine powder. The fine powder was put into a sample loader, agitated and leveled, then put into the x – ray diffractometer (Gribble, 1991). It was scanned in the x – ray between angles  $2^{\circ}$  and  $75^{\circ} 2\theta$ . After some time the diffractometer displaces the diffractogram and readings on the computer screen, which was stored and printed out. The minerals in the diffractogram were identified manually using an x-ray powder data diffractogram book (Feklichev, 2000). Their relative percentages were also determined by means of calculation using the heights of the peaks of corresponding minerals with respect to the highest peaks as 100%.

**Full account of the x-ray powder diffraction techniques is documented by Poppe et al., 2001 (<http://pubs.usgs.gov/of/of01-041/index.htm>).**

## RESULTS AND DISCUSSION

### Field Observations

The generalized soil profile of the excavation site where the samples were obtained is illustrated in fig. 4. Brown, silty, fine to coarse sand occurs as the overburden to a depth of about 1.5 m. The under lining soil is made up of light brown to whitish colored sand, silt and clay. It was observed to a depth of about 4 m, where the level of excavation was stopped. It was observed that in some areas (fig. 5), quartz of (5-6) cm in diameter was seen in the clayey soil.

The host rock of the clayey soil is granite. Petrological studies undertaken establish the mineral assemblages of the granitic rock as quartz > plagioclase feldspar > biotite > microcline > opaque mineral in descending order of abundance. Quartz is one of the mineral that is most resistant to



weathering. This accounted for its existence after other minerals might have been weathered into different soil particle sizes.

Plagioclase feldspar alters to montmorillonite when limited water is available. But alteration continues with production of kaolinite when excess water is present (Gribble, 1991).

#### Laboratory Results

The summary of the sieve analysis is presented in table 1. Fig 6 is a typical particle size distribution curve obtained from study area. Generally, the curves reveals that the gravel > sand > silt > clay. The coefficient of uniformity ( $C_u$ ) ranges from 7.5 to 33500. The maximum size of the smallest 10% (that is  $D_{10}$ ) of the samples tested ranges between 0.0018 mm to 0.35 mm and the smallest 60% ( $D_{60}$ ) as illustrated in table 1 which indicate the predominance of fine to medium grained sand with a considerable portion of silt. This observation is illustrated on the particle size analysis curve. It also implies that the clay size in the sample is generally low (Das, 1995).

The summary of the Atterberg limits and linear shrinkage results is presented in table 2 and a typical plasticity chart is shown in fig 7. The mean value of the plasticity index, plastic and liquid limits are 14.8%, 20% and 32.85% respectively. The liquid limit ranges from 26% - 41%. The plastic limit varies from 4% - 32% while the plasticity index is of the order of 6% - 37%. The linear shrinkage ranges from 2.86% to 12.86%. The specific gravity ranges from 2.38 to 2.67 (Table 2).

A typical diffractograph is illustrated in fig 8. The Mineral peaks obtained from the x-ray diffractographs contain illite, thuringite, kaolinite, smectite, kaolinite, smectite, pyrophyllite and halloysite minerals. Illite and kaolinite have a significance of above 0.8 and were identified as the major clay minerals. The relative abundance was obtained by calculation of their height and it was established that illite content was greater than kaolinite.

## CONCLUSION

The geotechnical properties of the soil samples analyzed reveal high quantity of gravel and sand with low silt and clay content. The clay mineralogical composition is favorable. The absence of montmorillonite and low smectite eliminates the possibility and problems of lateral pressures, shrinking and swelling tendency. Based on the aforementioned, the clay deposit is suitable for manufacturing brick block, tiles and glaze products. It can also be used as engineering fill for construction purposes.

## ACKNOWLEDGEMENT

**The authors are grateful to Shelter Clay Company Limited, Minna for the permission granted to collect soil samples from their excavation site.**

The efforts and assistance of the laboratory staff of National Steel Raw Material Exploration Agency, Kaduna, Nigeria in laboratory analysis and interpretation is gratefully acknowledged.

## BIBLIOGRAPHY

- Ajibade, A. C., Woakes, M., Rahaman, M. A., 1989. In: C. A. Kogbe (Editor) Geology of Nigeria. 2<sup>nd</sup> revised Edition. Published by Rock View Nigeria Limited, pp 57 – 69.
- British standard methods of test for soils for Civil Engineering Purposes. BS 1377: Part 2, classification test, 1990. Published by the British Standards Institution, pp 2 – 30.





Das, B. M., 1995. Principles of Geotechnical Engineering. Second Edition. Published by PWS – KENT publishing company, Boston, USA, 7pp.

Elueze, A. A., 1995. Prospects for sourcing stone polishing ventures from rocks in the Basement complex of Nigeria. In: A. A. Elueze (Editor), Journal of Mining and Geology, Vol. 31 (1), pp73 – 77.

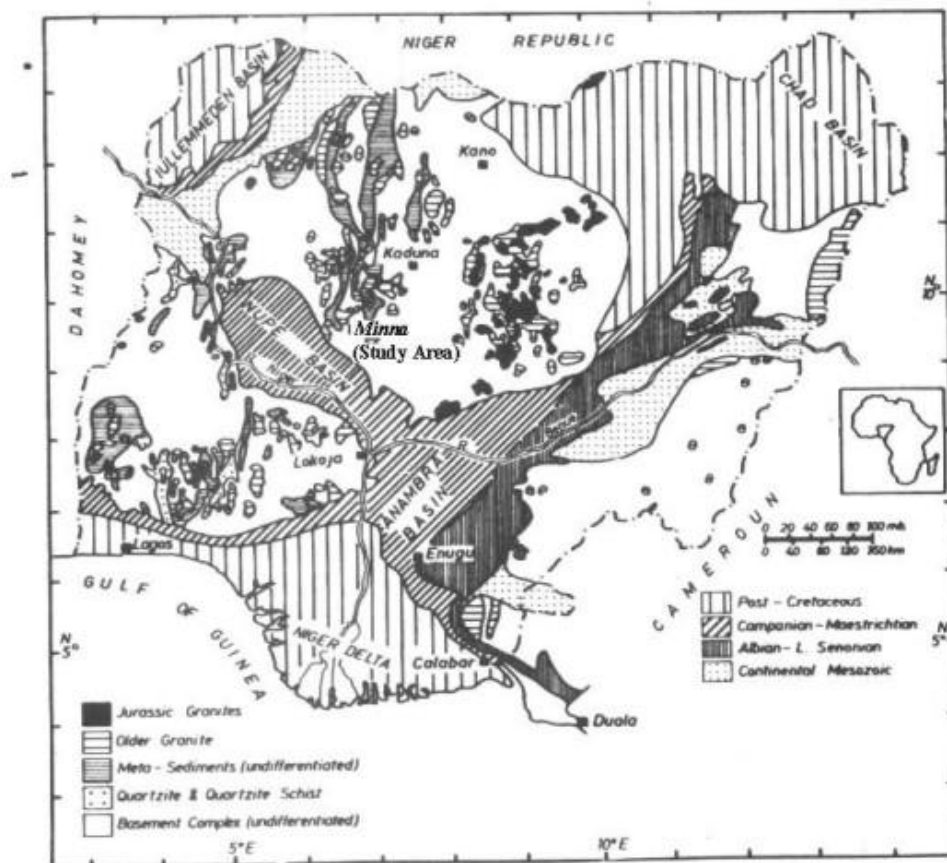
Gribble, C. D., 1991. Rutley Elements of Mineralogy. 27<sup>th</sup> Edition. Published by CBS publishers and distributors, Shahdara, India, pp 48 – 117.

Feklichev, V. G., 1992. Diagnostic Constants of Minerals. First Edition. Published by Mir publishers, Moscow, pp 160 – 579.

Mc Curry, P., 1976. A General Review of the Geology of the Precambrian to Lower Palaeozoic Rocks of Northern Nigeria, pp 13 – 37.

Poppe, L. J., Raskevich, V. F., Hathaway, J. C. and Blackwood, D. S., 2001.

U. S. Geological Survey open file report 01 – 041. A laboratory manual for x – ray powder diffraction. <http://pubs.usgs.gov/of/of01-041/html/docs/intro.htm>



**Fig 1 Generalized Geological map of Nigeria showing the location of the study area, Minna.**  
(Source: Elueze, 1995)

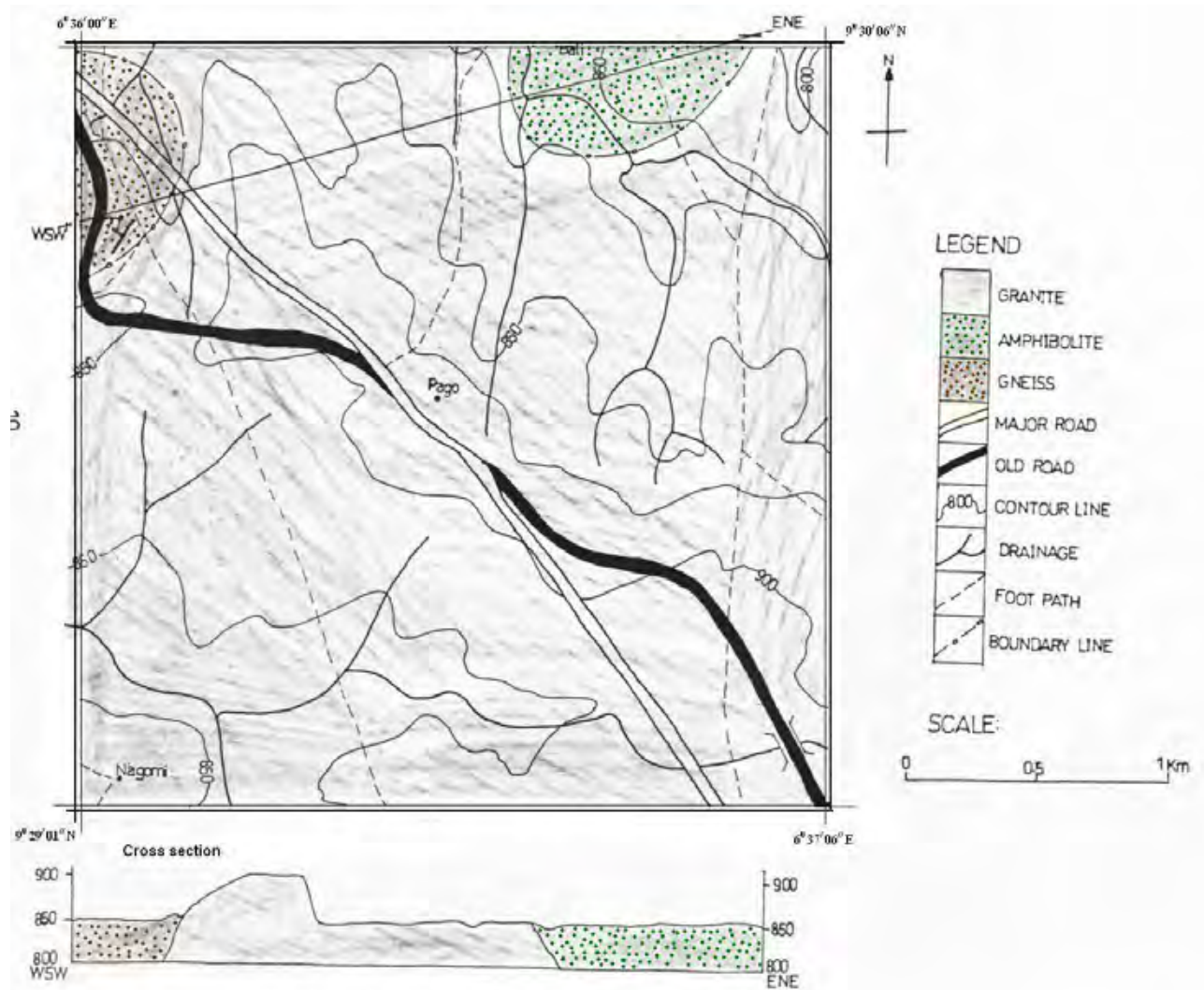


Fig.2 Geological map of the study area, Pago, Minna



TABLE 1 RESULTS OF SIEVE ANALYSIS

		SIEVE ANALYSIS (% PASSING)										Effective size, $D_{10}$ (mm)	Coefficient of Uniformity ( $C_u$ )
Sample No	Depth (m) ↓	Sieve Size (mm) →	3.35	2.63	2.00	1.18	0.60	.425	0.30	0.15	0.063		
1	4		83.24	74.68	70.53	59.59	46.97	38.54	30.68	19.78	9.64	0.01	1180
2	3.5		66.48	48.49	39.47	27.00	16.06	12.28	9.85	6.26	4.30	0.30	11.6
3	3		66.24	59.18	55.34	45.50	33.20	28.16	24.04	16.00	10.52	0.00018	15556
4	3		62.96	55.18	42.24	32.10	26.96	22.28	14.10	11.92	1.52	0.0001	33500
5	3.5		69.23	55.65	49.29	35.41	22.17	16.96	13.17	7.75	4.37	0.212	13.21
6	4		89.28	84.30	79.06	61.22	39.69	29.77	24.78	16.72	8.60	0.001	1180
7	3		73.17	58.38	51.67	37.31	22.45	16.73	12.19	5.21	0.49	0.35	7.5
8	3		58.77	49.21	43.98	35.68	26.41	21.69	17.37	9.37	3.59	0.02	16.75
9	4		72.26	64.28	59.60	46.50	30.61	24.01	19.33	11.57	5.37	0.003	666.6
10	3		91.70	81.64	74.04	58.61	42.15	33.88	26.48	14.67	5.61	0.1	11.5
Arithmetic mean →			73.33	63.103	56.52	42.15	30.67	21.45	19.20	11.93	5.40	0.0996	5214.32
Range →			62.96-91.70	48.49-84.30	39.47-79.06	27.0-61.22	16.06-46.97	12.28-38.54	9.85-30.68	5.21-19.78	0.49-10.52	0.00012-0.35	7.5-33500



TABLE 2. SUMMARY OF RESULTS OF LABORATORY ANALYSIS

Sample No.	Depth (m) ↓	Atterberg Limit (%)			Linear Shrinkage, LS (%)	Specific Gravity, GS
		Liquid limit (LL)	Plastic limit (PL)	Plasticity Index (PI)		
1	4	26	-	-	5	2.63
2	3.5	28.5	-	-	3.57	2.66
3	3	37	24	13	8.57	2.67
4	3	41	4	37	12.86	2.63
5	3.5	31	24	7	10.71	2.67
6	4	33	-	-	3.57	2.58
7	3	38	32	6	12.14	2.63
8	3	27	16	11	10.71	2.62
9	4	41	-	-	12.14	2.63
10	3	26	-	-	2.86	2.67
Arithmetic mean →		32.85	20	7.4	8.21	2.64
Range →		26 - 41	0 - 32	0 - 37	2.86 – 12.86	2.58 – 2.67



# ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF PETROLEUM DEPOTS ON THE CHEMICAL QUALITY OF SURFACE AND GROUNDWATER IN IJORA AREA, APAPA, LAGOS, SOUTH-WESTERN NIGERIA.

**SAMSON ADELEKE OKE (1) AND ADETILEWA ANTHONY MARQUES (2)**

Department of Geology, Federal University of Technology, P. M. B. 65, Minna, Niger State, Nigeria. E-MAIL : (1) [okeadeleke@hotmail.com](mailto:okeadeleke@hotmail.com), (2) [saonecnq@yahoo.com](mailto:saonecnq@yahoo.com)

## ABSTRACT

This study focuses on the assessment of the impact of five petroleum depots on the chemical quality of surface and sub-surface water within its vicinity. Water samples were collected from thirteen locations within Ijora, Apapa and three water samples were recovered from Festac town, about eight kilometers west and up gradient of Ijora to provide baseline values.

The pH, temperature and conductivity were measured in the field. All samples were analyzed for the concentrations of BOD, COD, TOC, Pb, Cr, Cd, Cu, Zn, As, Mn, Ni,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , and  $\text{CO}_3^{2-}$  in the laboratory.

The bio-chemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD) in all the samples were above the world health organization (WHO) guideline values of 6mg/l and 10 mg/l for drinking water respectively. The mean total organic carbon content of the water samples from Ijora exceeds those from (Festac area). The concentrations of Pb (0.65 - 1.74 mg/l), Cr (1.36- 1.82 mg/l), Cd (0.02 - 0.07 mg/l), As (0.19 - 1.14 mg/l), Mn (1.39 - 4.72 mg/l) and Ni (0.11 - 0.34 mg/l) exceeded W.H.O. [4] guidelines for Pb (0.01mg/l), Cr (0.05mg/l), Cd (0.003mg/l), As (0.01mg/l), Mn (0.5mg/l) and Ni (0.02mg/l) correspondingly for potable water in all the surface water samples. The mean concentrations of parameters analyzed in Ijora and Festac were illustrated as bar-charts and compared to detect the possibility of input from the industrial activities. For some parameters, the levels in the samples from Apapa exceed those from Festac while for others, the reserve is the case. Therefore, natural and anthropogenic sources of contamination are suspected. None of the anions exceeded the W.H.O. guidelines for drinking water.

The results of investigation indicate evidences of contamination of the water bodies. Waste recycling, effluent treatment and safety devices are recommended to prevent and reduce further pollution of these vital resources.

## INTRODUCTION

Five petroleum depots which facilitate the storage and distribution of petroleum products (PMS-petroleum motor spirit, AGO-automobile gas oil, or diesel, DPK- kerosene, ATK-aviation turbine kerosene, engine oil and LPG-liquefied petroleum gas) are located within Ijora area of Apapa, Lagos, south-western Nigeria (fig. 1). During normal operations, these petroleum products occasionally spilled on the concrete floor. The spillage flows into the drainage channel which subsequently run-off into surrounding surface water. Untreated waste water is constantly being discharged into the surrounding water (creeks and rivers). The possibility of the storage tanks leaking cannot be ruled out and safety devices to detect leakages are not in place in most of these depots. The petroleum products leak from the storage tanks (fig. 2) and move downward under the force of gravity. Berger paint factory and several filling stations are located within the area investigated (Ijora, Apapa).

The study area is part of the Nigeria portion of the Dahomey basin. The most important aquifers are within the Abeokuta formation and the coastal plain sands [Jones and Hockey, 1964;



Okosun, 1996). Alluvium, litoral and lagoonal deposits cover the entire area as illustrated in fig. 3.

This study examines the impact of the petroleum depots and other industrial activities on the chemical quality of the surface and groundwater resources within the vicinity of the area investigated with the use of some selected parameters.

## MATERIALS AND METHODS

Water samples were collected from the surface (creeks and their tributaries), hand-dug wells (within the shallowest aquifer – coastal plain sand) and boreholes (from a deeper aquifer) at thirteen locations (fig. 4). Three water samples from surface, hand-dug well and borehole were recovered from Festac town, up gradient and at about eight kilometers west of the study area (fig. 5) to provide background conditions. At each location, the pH, electrical conductivity, temperature of the water was measured and sample was collected in glass bottle and plastic containers for the determination of anion and cation content respectively. Two drops of concentrated HCL was added to water samples in the plastic container to prevent the trace element from adhering to the walls of the container and for the purpose of homogenization.

All the water samples were analyzed in the laboratory of Federal Institute of Industrial Research Oshodi (FIIRO), Lagos, Nigeria. The analyses were performed according to official method of analysis of the Association of analytical chemists, Arlington, Virginia, U.S.A. (A.O.A.C., 1990). All waters were filtered (0.45  $\mu$ m) prior to analysis. Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), chloride, bi-carbonate and carbonate were determined volumetrically. Ultra-violet spectro-photometer was used to evaluate the concentration of sulphate and nitrate. Total Organic Carbon (TOC) was determined with non dispersive infra-red analyzer. Atomic Absorption Spectro-photometric (AAS) method was used to establish the levels of Pb, Cr, Cd, Cu, Zn, As, Mn and Ni. Duplicate water samples were analyzed at the laboratory for quality control and the average values taken. The results obtained from the study area (Apapa) were compared with those found from Festac town to establish the impact of the petroleum depots and other anthropogenic activities on the surface and groundwater in Ijora, Apapa.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Borehole Water

The results of chemical and physical analysis of water samples collected from the boreholes in the area are presented in Table 1. The pH ranges from 4.9 to 6.4 indicating acidic condition.

The mean value of BOD (Biochemical oxygen demand) for the borehole samples in the study area (Ijora, Apapa) is 33.29mg/l and is less than the value (37.50mg/l) obtained from the control area (Festac). Both values exceed the WHO (1993) guideline value of 6 mg/l for drinking water (fig. 6).

Biochemical oxygen demand is a measure of the quantity of oxygen consumed by micro-organisms during decomposition of organic matter. It is an indirect measure of biodegradable organic compounds in water Ademoroti (1987). The higher the value of BOD, the lower the amount of oxygen available to organic materials for biodegradation. The average value of COD (Chemical oxygen demand) is 43.65mg/l.

This value is higher than the WHO (1993) value of 10.0 mg/l for drinking water and lesser than the value (58.46 mg/l) obtained from Festac area (control sample) as displayed in fig. 7. COD is a measure of the amount of oxygen required for complete oxidation of carbon (IV) oxide and organic matter present in a sample of water. The mean TOC (Total Organic Carbon) was 40.25% and this exceeds the amount (34%) obtained from the background environment (Festac) as shown in fig. 8.





The mean levels of  $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ .

The average concentrations of  $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni}$ . Mn has a mean level of 2.54 mg/l which exceeds the concentration in the control environment (2.36mg/l) and with all the samples exceeding W.H.O. (1993) guideline of 0.5mg/l for drinking water (fig. 9). The elevated concentration of Mn could be anthropogenic or natural. Cd, Cr, and As were not detected in the borehole samples in the study area.

### Hand-dug Well

Table 2 presents the analytical results from water samples collected from the hand-dug wells. The pH ranges from 6 to 7.5 indicating slightly acidic to neutral situation.

The average BOD obtained from the area investigated was 29.57mg/l. This value exceeds the WHO (1993) specification of 6.0mg/l for potable water and is slightly beyond the value obtained from Festac area (fig. 6). Hand-dug wells water samples have a mean COD of 42.17mg/l. This value is greater than the WHO (1993) specification of 10.0mg/l for drinking water but lower than the background COD value of 53.72mg/l (fig. 7). The average TOC content obtained was 48.2% and is above the value (35%) obtained from Festac environment (fig. 8). The likely source is the infiltration of petroleum products from the depot.

The mean concentrations of  $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ . None of the anions exceeded the W.H.O. (1993) guidelines for drinking water. The average concentration of  $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cd}$ .

All the hand-dug well water samples exceeded the W.H.O. (1993) guideline for Mn (0.5mg/l) as illustrated in fig. 9. The concentration of Cu (0.61 - 4.08mg/l) exceeded the W.H.O. (1993) guideline value for the trace element (2mg/l) in sixty percent of the water samples.

Copper is abundant in the environment and is necessary for the normal growth of all living organisms (Schroeder et al., 1966; Carbonell and Tarazona, 1994). Abnormal levels of copper intake may range from levels as low as to induce a nutritional deficiency to levels as high as to be acutely toxic (Ghesquiere, 1999).

Copper deficiency in vertebrates, for example, is associated with anemia, gastrointestinal disturbances, aortic aneurisms, bone development abnormalities, and death Birley and Lock (1998).

Copper toxicity causes liver cirrhosis in human beings Eisler (2000).

### Surface Water

The result of analysis of surface water samples is presented in Table 3. The mean pH is 6.5 indicating a slightly acidic condition.

The mean BOD of the surface water samples is 37.85mg/l. This is greater than WHO (1993) specification of 6.0mg/l for drinking water and the background value (30.22mg/l) as illustrated in fig. 6.

Elevated levels of BOD, lowers the concentration of dissolved oxygen in a body, which has profound effects on the water body itself and the resident aquatic life. The lower the oxygen concentration the greater the stress marine organisms experience. Eventually, species sensitive to low dissolved oxygen levels are replaced by species that are more tolerant to adverse conditions thereby reducing the diversity of aquatic life in a given body of water Ademoroti (1987).

The average COD level in the surface water samples in Ijora, Apapa is 62.02mg/l. This value exceeds the WHO (1993) guideline of 10.0 mg/l for potable water and the amount (50.67mg/l) obtained from the control environment (Festac) as shown in fig. 7.

The average of the total organic carbon content obtained from the study area was 51%. This exceeds the value (32%) obtained from the Festac environment (fig. 8). The likely source of the elevated organic carbon content is effluents and spilled petroleum products from the depot.



The average concentration of  $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ . The mean level of  $\text{Mn} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cd}$ . The concentrations of Pb (0.65 - 1.74 mg/l), Cr (1.36- 1.82 mg/l), Cd (0.02 - 0.07 mg/l), As (0.19 - 1.14 mg/l), Mn (1.39 - 4.72 mg/l) and Ni (0.11 - 0.34 mg/l) exceeded W.H.O. (1993) guidelines for Pb (0.01mg/l), Cr (0.05mg/l), Cd (0.003mg/l), As (0.01mg/l), Mn (0.5mg/l) and Ni (0.02mg/l) for drinking water in all the surface water samples as illustrated in figs.10, 11, 12, 13, 9 and 14 . The sources of these elements could be both natural and anthropogenic.

The elevated concentration of lead could be from gasoline added to improve its anti-knock properties.

All reliable evidence indicates that Pb is neither essential nor beneficial to living organisms, and that all measured effects are adverse--including those on survival, growth, reproduction, development, behavior, learning, and metabolism. Adverse effects on aquatic biota reported at waterborne Pb concentrations of 0.001 to 0.0051 mg/l included reduced survival, impaired reproduction, reduced growth, and high bio-concentration from the medium (Eisler, 2000).

There is no evidence that cadmium, a relatively rare heavy metal, is biologically essential or beneficial; on the contrary, cadmium is a known teratogen and carcinogen, a probable mutagen, and has been implicated as the cause of severe deleterious effects on fish and wildlife (Eisler, 2000).

Freshwater and marine aquatic organisms accumulated measurable amounts of cadmium from water containing Cd concentrations not previously considered hazardous to public health or to many species of aquatic life; i.e., 0.02 to 10 ppb (Eisler, 2000).

At high environmental concentrations, Cr causes disturbances in glucose metabolism (Centeno, 2003), is a mutagen, teratogen, and carcinogen (Eisler, 2000).

The concentration of zinc in the entire water sample is less than 3mg/l (fig.15).

Apart from the borehole water, in Ijora, the mean levels of copper in all the other medium of sampling exceed the WHO (1993) guideline value of 2mg/l (fig. 16).

## CONCLUSION

Evidence of contamination of surface and groundwater within the vicinity of the petroleum depot is revealed by higher total organic carbon content when compared with the background values. The mean concentrations of Bio-chemical oxygen demand, Chemical oxygen demand and manganese exceed the WHO guideline value in all the water samples. The mean level of zinc is below the WHO guideline level in the entire area investigated (fig. 15).

The mean concentrations of parameters analyzed in Ijora and Festac were illustrated as bar-charts and compared to detect the possibility of input from the industrial activities. For some parameters, the levels in the samples from Apapa exceed those from Festac while for others; the reverse is the case (figs. 6 to 16). Therefore, natural and anthropogenic sources of contamination are suspected.

Waste recycling, effluent treatment and safety devices are recommended to minimize further contamination of these water resources.

## ACKNOWLEDGEMENT



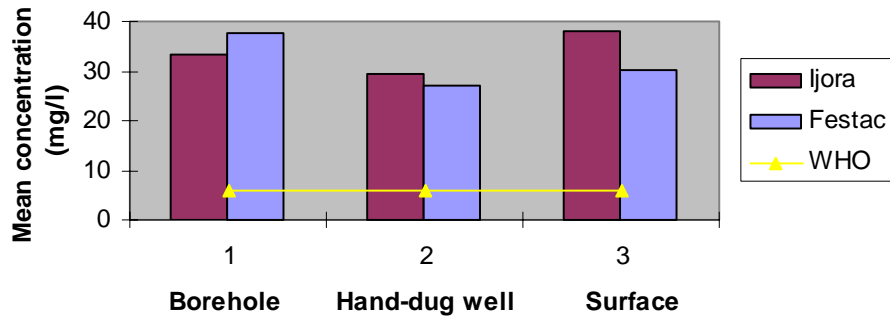
The efforts and assistance of Prof. Osibanjo of chemistry department, University of Ibadan, Dr. Oteri of Akute Geosciences, Dr. E. A. Adamu of Federal ministry of water resources and Mr. Nwakoagbara of department of petroleum resources are gratefully acknowledged.

## BIBLIOGRAPHY

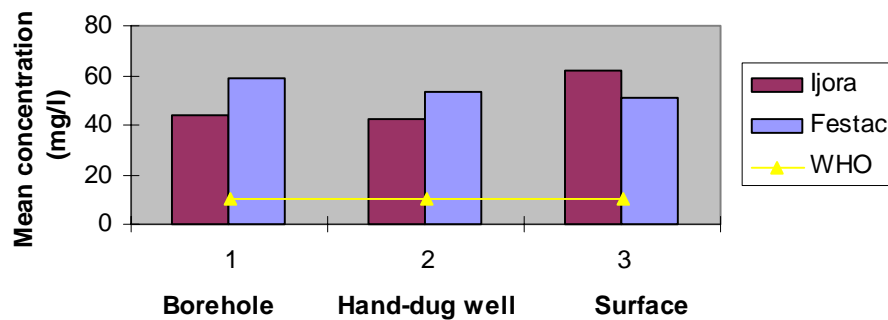
- A.O.A.C., 1990. Official method of analysis of the association of analytical chemist, 15<sup>th</sup> edition, Virginia, U.S.A.
- Aaseth, J., and T. Norseth. 1986. Copper. Pages 233-254 in L. Friberg, G.F. Nordberg, and V.B. Vouk, editors. Handbook on the toxicology of metals. Second edition. Volume II: specific metals. Elsevier, New York.
- Ademoroti, C. M. A., 1987. Standard methods for water and effluent analysis. Peterson publishers, Uwasota Benin city, pp 68-76.
- Birley, M. H. and Lock, K., 1998. A review of health impacts of peri-urban natural resource development. International center for health impact assessment, Liverpool school of tropical medicine: draft project, 241p.
- Carbonell, G., and J. V. Tarazona. 1994. Toxicokinetics of copper in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology* 29:213- 221.
- Centeno, J. A., 2003. The diversity of trace elements in environmental health and human health diseases. In: Medical Geology short course on metals, health and the environment CD-ROM at the 6<sup>th</sup> international symposium on environmental geochemistry, university of Edinburgh, Scotland, U. K.
- Eisler, R., 2000. Lead hazards to fish, wildlife and invertebrates: a synoptic review. In: Contaminant hazard reviews 1-35 CD-ROM. Patuxent wildlife research center, U. S. Department of the interior, U. S. Geological survey, Laurel, MD 20708.
- Ghesquiere, P., 1999. Indirect wastewater reuse for peri-urban irrigation in Kumasi, Ghana. An assessment of surface water quality for irrigation and its implications for human health. Thesis submitted in partial fulfillment of a diploma in water and environment. ENGEES, Strasbourg, France, HR Wallingford, UK.
- Jones, H. A. and Hockey, R. D., 1964. The Geology of part of south-western Nigeria. Bulletin of Geological survey of Nigeria, no. 31, pp 87
- Okosun, E. A., 1996. Review of the early Tertiary stratigraphy of south-western Nigeria. In: A. A. Elueze (editor) *Journal of mining and Geology*, vol. 34 (1) pp27-35.
- Schroeder, H. A., A. P. Nason, I. H. Tipton, and J. J. Balassa. 1966. Essential trace metals in man: copper. *Journal of Chronic Diseases* 19:1007-1034.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 1980. Ambient water quality criteria for copper. U.S. Environmental Protection Agency Report 440/5-80-036. 162 pp.
- World Health Organization, 1993. Guideline values for drinking water quality, vol. 1 recommendations, Geneva, pp1-2.



**Fig. 6 Bar-chart of mean concentration of Bio-chemical oxygen Demand (BOD) in water samples**

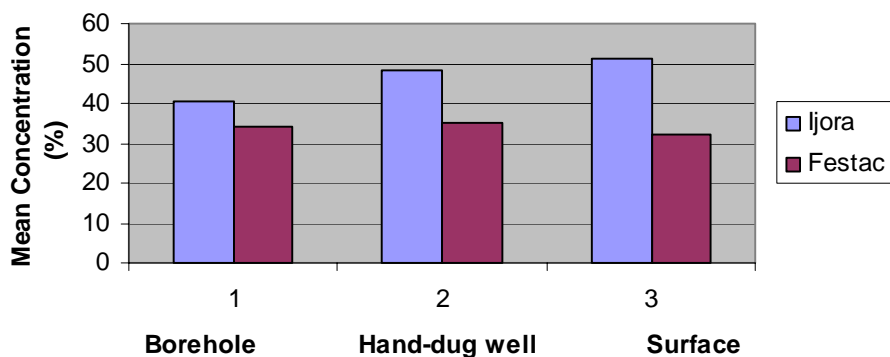


**Fig. 7 Bar-chart of mean concentration of Chemical Oxygen Demand (COD) in water samples**

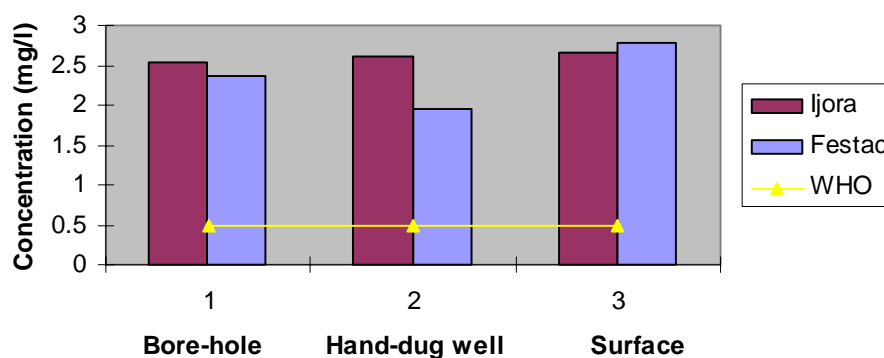




**Fig. 8 Bar-chart of mean concentration of Total Organic Carbon (TOC) in water samples**

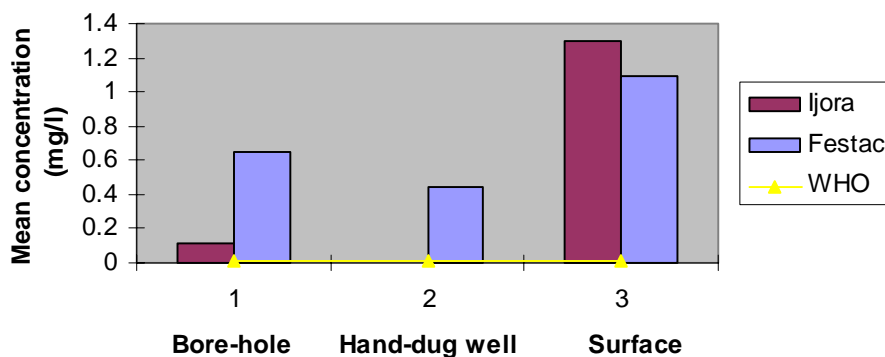


**Fig. 9 Bar-chart of mean concentration of Manganese (Mn) in water samples**

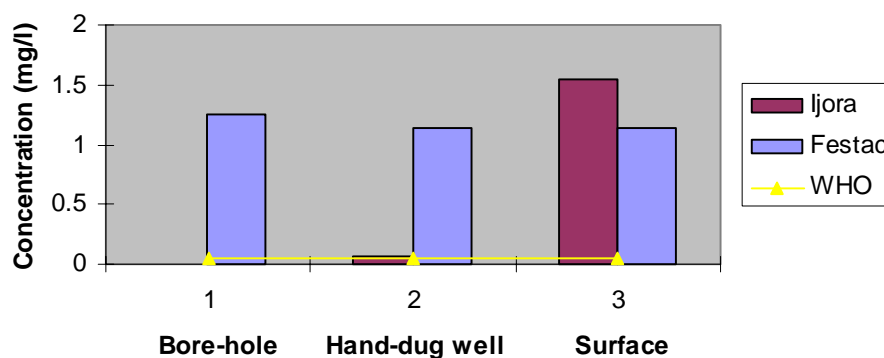




**Fig. 10 Bar-chart of mean concentration of Lead (Pb) in water samples**



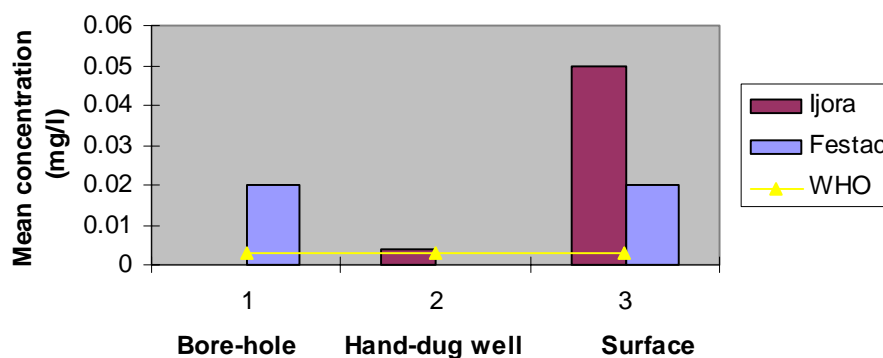
**Fig. 11 Bar-chart of mean concentration of Chromium (Cr) in water samples**



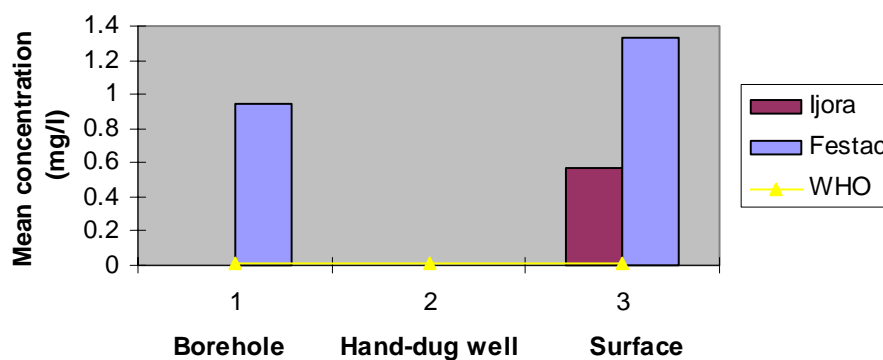


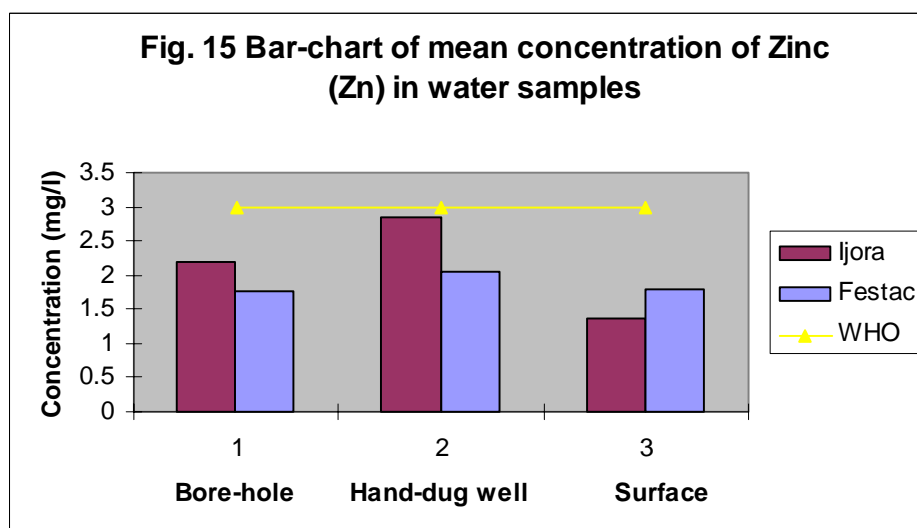
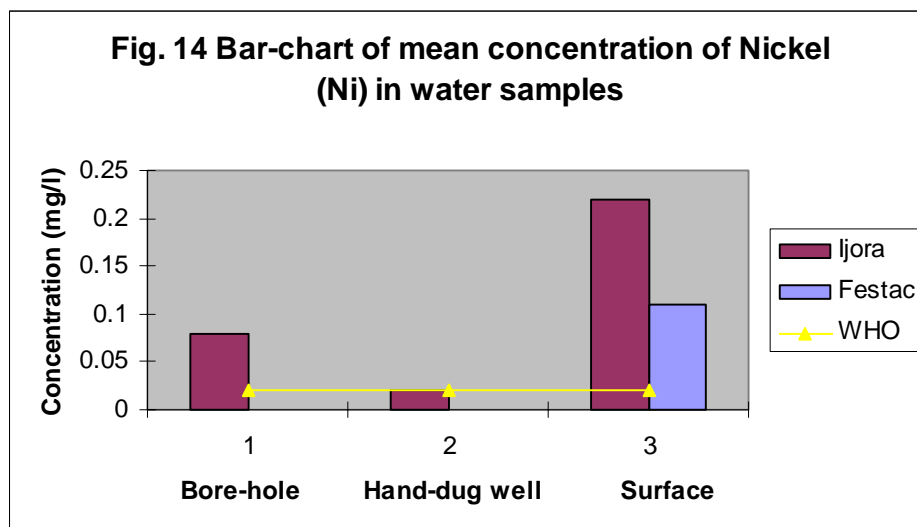


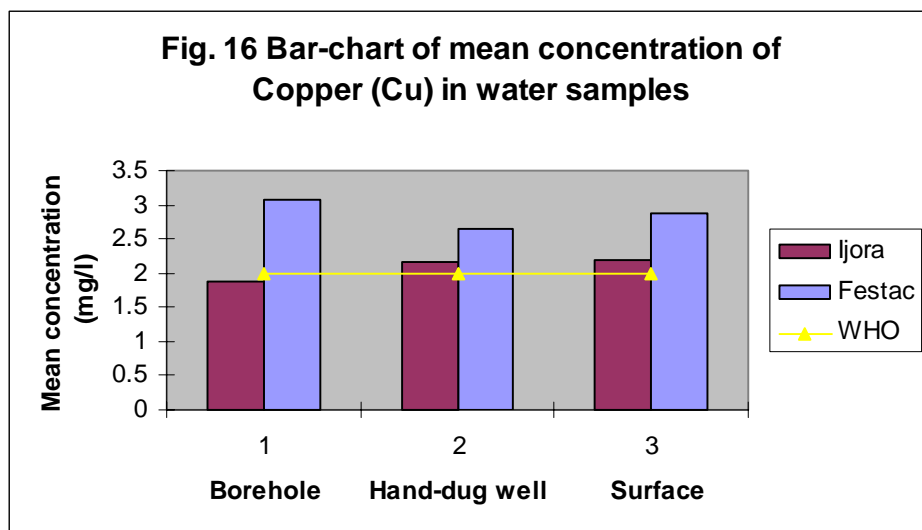
**Fig. 12 Barchart of mean concentration of Cadmium (Cd) in water samples**



**Fig.13 Bar-chart of mean concentration of Arsenic (As) in water samples**









**Table 1 Result of Physical and Chemical Analysis of Borehole Water Samples**

S/NO	LOCATION	pH	TEMP °C	CONDUCTIVITY us/cm	BOD mg/l	COD mg/l	TOC %	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Pb mg/l	Cr mg/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	As mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l
2	African Petroleum	5.8	26.5	54.38	30.03	39.50	40	8.0	0.42	70	42.55	48	0.22	0.00	0.00	1.63	2.74	0.00	2.36	0.00
9	Ijora Market	6.0	26.5	59.40	29.17	47.40	53	12.0	1.92	65	49.45	82	0.00	0.00	0.00	2.04	3.29	0.00	4.72	0.00
12	Park-lane Apapa GRA	6.4	27	68.50	41.67	42.66	36	4.10	0.37	77	55.20	67	0.22	0.00	0.00	2.24	1.78	0.00	1.39	0.00
13	NEPA Sub-station	4.9	26	50.20	32.29	45.03	32	4.00	0.39	59	43.70	71	0.00	0.00	0.00	1.63	0.95	0.00	1.67	0.11
RANGE		4.9 - 6.4	26 - 27	50.20 - 68.50	29.17 - 41.67	39.50 - 47.40	32 - 53	4.00 - 12.0	0.37 - 1.92	59 - 77	42.55 - 55.2	48 - 82	0.00 - 0.22	0.00	0.00	1.63 - 2.24	0.95 - 3.29	0.00	1.39 - 4.72	0.00 - 0.11
ARITHMETIC MEAN		5.8	26.5	58.12	33.29	43.65	40.25	7.03	0.78	67.75	47.73	67	0.11	0.00	0.00	1.89	2.19	0.00	2.54	0.08
W. H. O. GUIDELINE VALUE (1993)		6.5 - 8.5			6.0	10.0		250	50	250	100		0.01	0.05	0.003	2	3	0.01	0.5	0.03
NO. EXCEEDING WHO GUIDELINE		4			4	4		0	0	0	0		2	0	0	2	1	0	4	1
% EXCEEDING WHO GUIDELINE		100			100	100		0	0	0	0		50	0	0	50	25	0	100	25
15.	FESTAC TOWN (CONTROL SAMPLE)	5.9	26.5	57.30	37.50	58.46	34	17.50	0.40	61	43.70	72	0.65	1.25	0.02	3.06	1.76	0.95	2.36	0.00



**Table 2 Result of Physical and Chemical Analysis of Hand-dug Water Samples**

S/NO	LOCATION	pH	TEMP °C	CONDUCTIVITY us/cm	BOD mg/l	COD mg/l	TOC %	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Pb mg/l	Cr mg/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	As mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l
4	Nigerian Navy Primary Sch	6.7	27.5	70.00	26.00	47.40	35	3.70	0.61	72	55.2	82	0.00	0.00	0.00	0.61	4.11	0.00	3.06	0.00
6	Nigerian Army	6.5	27	72.5	34.38	45.03	46	5.80	0.24	84	54.05	78	0.00	0.00	0.01	2.04	1.64	0.00	3.06	0.00
7	Ijora Slumps	6.0	27.5	68.50	31.24	44.24	41	15.2	0.58	79	49.45	67	0.00	0.11	0.01	2.65	2.74	0.00	1.94	0.00
8	Ijora Market	7.5	28	60.00	29.17	42.60	58	24.8	0.67	70	60.59	88	0.00	0.00	0.00	1.43	2.47	0.00	3.75	0.00
11	Boundary Market	6.8	27.5	74.2	27.08	31.60	61	3.90	0.62	78	48.30	62	0.00	0.23	0.00	4.08	3.29	0.00	1.25	0.11
RANGE		6 - 7.5	27 - 28	60.00 - 74.20	26.00 - 34.38	31.60 - 47.40	35 - 61	3.70 - 24.8	0.24 - 0.67	70 - 84	48.30 - 60.59	62 - 88	0.00 - 0.23	0.00 - 0.23	0.00 - 0.01	0.61 - 4.08	1.64 - 4.11	0.00 - 0.00	1.25 - 3.75	0.00 - 0.11
ARITHMETIC MEAN		6.7	27.5	69.04	29.57	42.17	48.2	10.68	0.54	76.6	53.52	75.4	0.00	0.07	0.004	2.16	2.85	0.00	2.61	0.02
W. H. O. GUIDELINE VALUE (1993)		6.5 - 8.5			6.0	10.0		250	50	250	100		0.01	0.05	0.003	2	3	0.01	0.5	0.02
NO. EXCEEDING WHO GUIDELINE		1			5	5		0	0	0	0		0	2	2	3	2	0	5	1
% EXCEEDING WHO GUIDELINE		20			100	100		0	0	0	0		0	40	40	60	50	0	100	20
16.	FESTAC TOWN (CONTROL SAMPLE)	5.7	27.5	58.50	27.08	53.72	35	16.4	0.64	60	44.85	68	0.44	1.14	0.00	2.65	2.05	0.19	1.94	0.00

**Table 3 Result of Physical and Chemical Analysis of Surface Water Samples**

S/NO	LOCATION	pH	TEMP °C	CONDUCTIVITY us/cm	BOD mg/l	COD mg/l	TOC %	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Pb mg/l	Cr mg/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	As mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l
1	African Petroleum	6.3	28.5	80.00	31.25	70.31	67	8.90	0.89	76	51.75	62	1.52	1.36	0.05	1.84	1.51	0.19	3.33	0.22
3	Boundary Market	6.4	28	62.50	37.50	56.88	30	2.90	0.39	85	48.30	79	0.65	1.82	0.07	2.04	1.2	0.38	2.50	0.22
5	Lagos Harbour	7.0	28.5	50.00	41.03	63.20	45	4.20	4.31	81	59.80	72	1.30	1.48	0.05	2.86	1.37	0.57	2.22	0.34
10	Ijora causeway	6.3	29	61.00	41.60	57.67	62	3.70	0.81	92	47.15	89	1.74	1.48	0.02	2.04	1.37	1.14	2.64	0.11
RANGE		6.3 - 7.0	28 - 29	50 - 80	31.25 - 41.60	56.88 - 70.31	30 - 67	2.90 - 8.90	0.39 - 4.31	76 - 92	47.15 - 59.80	62 - 89	0.65 - 1.74	1.36 - 1.82	0.02 - 0.07	1.84 - 2.86	1.23 - 1.51	0.19 - 1.14	2.22 - 3.33	0.11 - 0.34
ARITHMETIC MEAN		6.5	28.5	63.39	37.85	62.02	51	4.93	1.60	83.5	51.75	75.5	1.30	1.54	0.05	2.20	1.36	0.57	2.67	0.22
<b>W. H. O. GUIDELINE VALUE (1993)</b>		<b>6.5 - 8.5</b>			<b>6.0</b>	<b>10.0</b>		<b>250</b>	<b>50</b>	<b>250</b>	<b>100</b>		<b>0.01</b>	<b>0.05</b>	<b>0.003</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0.01</b>	<b>0.5</b>	<b>0.02</b>
NO. EXCEEDING WHO GUIDELINE		3			4	4		0	0	0	0		4	4	4	3	0	4	4	4
% EXCEEDING WHO GUIDELINE		75			100	100		0	0	0	0		100	100	100	75	0	100	100	100
14	FESTAC TOWN (CONTROL SAMPLE)	5.5	28.5	55.70	30.22	50.67	32	12.50	0.42	58	42.55	68	1.09	1.14	0.02	2.86	1.78	1.33	2.78	0.11



## **BASELINE STUDY OF HEAVY METAL CONCENTRATION AND DISTRIBUTION IN THE SOILS OF THE BASSA INDUSTRIAL ZONE 1, DOUALA, CAMEROON (WEST AFRICA)**

A.V. Asaah<sup>(1)</sup>, A.F. Abimbola<sup>(1)</sup> and C.E. Suh<sup>(2)</sup>

*(1) Department of Geology, Faculty of Science, University of Ibadan, Nigeria;  
akwinga@yahoo.com, bimbosah@yahoo.com,*

*(2) Department of Geology and Environmental Science, Faculty of Science, University of Buea, PO  
Box 63, Buea; chuhma@yahoo.com*

Partial extraction was carried out on thirty-three (33) soil samples collected from the Bassa industrial zone 1 of Douala. The samples were analysed for Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, V and Zn. The following metal concentrations (range) were obtained (in ppm): Ag (0-1.3), As (0-64), Cd (0-7.3), Co (0-31), Cr (34-423), Cu (12-909), Mn (55-3282), Mo (0-81.6), Ni (9-284), Pb (0-3320), Sb (0-30), Sc (0.6-7.5), V (26-110), Zn (30-3782) and Fe (in wt %) (1.50-47.31). Results obtained reveal background and anomalous populations for most of the metals except Sc and V, which only have background populations. Multi-element geochemical anomalies occur within the vicinity of industries, waste dump sites, metal workshops, and mechanical workshops.

R-mode factor analysis reveals five element associations accounting for 94% of the total data variance. These associations are: Ag-Cu-Cr-Fe-Mn-Mo-Ni-Sb; Co-Cu-Pb-Sb-Zn; Sc-V; As; and Cd. Except for Sc and V, the enrichment factor of all the other metals reveals various levels of anthropogenic input. The geoaccumulation indices show that soils in the Bassa industrial zone are moderately to very highly polluted.

These metal-laden soils constitute a major health risk to the local populace and a cause for concern. Although this study successfully relates the concentration and distribution of toxic metals in the soils of the Bassa industrial zone to urban effluents associated with different urban activities, mainly industrial, it also provides base level information for recommended future investigations on the bioavailability of these metals.

## **ENVIRONMENTAL IMPACT OF A GOLD MINING ON STREAMS AT ATHENS MINE, MVUMA, ZIMBABWE**

Kudzai Musiwa

*Mining Engineering Department, University of Zimbabwe, PO Box MP167, Mount Pleasant, Harare, Zimbabwe. E-mail: [kudzie@eng.uz.ac.zw](mailto:kudzie@eng.uz.ac.zw)*

The effects of mining waste disposal on stream sediments in the stream that flow through the mining area at Athens mine; Mvuma, Zimbabwe were studied from 1999 to 2001. Parameters studied were arsenic, chromium, cobalt, copper, iron, lead, nickel, zinc and pH.

A total of twenty-four stream sediments and seventeen surface water samples were sampled and analysed. Four samples were control samples and their results for each element were used as the natural background values of each of the respective element. During the wet season sedimentation is disturbed by the fast flowing rivers and most of the fine particles are carried down stream into Mackenzie dam. The acidic water in the streams from the slimes scattered around mining area released most of the elements into solution. While there is dilution and transportation of element in sediments during the wet season, there is concentration and undisturbed sedimentation during the dry season.

High metal concentrations of elements were found in the streams with iron having the highest concentration during the dry and wet seasons. The element concentrations indicate a general decrease downstream during the wet season. Effects of the active slimes are clearly shown at points with an increase in most elements while there is some dilution at points where two streams meet and Mackenzie dam acts as a barrier to the movement of the elements. The effects of the chemicals used for the gold processing are very evident from the samples close to the active slimes and old dumps.

The concentrations of elements in surface water are mostly depended on the concentrations in the stream sediments and the acidity of the surface water. Once the sediments are saturated with the elements, they release some of the elements into the surface water. During periods of calm, suspended solids settle, even in shallow water resulting in reduced element concentration in the surface water and increased concentration in stream sediments. Most of the analysed elements are found in the stream sediments as compared to the surface water. There is slight enrichment of copper and iron in the surface water and the sources are the dumps assisted by the acidic conditions in the stream and addition of iron sulphate ( $\text{FeSO}_4$ ) during gold processing.

Element concentrations in the streams and Mackenzie dam, one of the water reservoirs for Mvuma exceeded world health organisation (WHO) standards for drinking water resulting in drinking water.

## **HUMAN HEALTH HAZARD: ARSENIC POLLUTION IN SOIL AND GROUNDWATER OF BANGLADESH**

M. Hamidur Rahman and Hiroaki Ishiga

The scientists of Rajshahi University together with Hokkaido University, Research Group for Applied Geology (RGAG) and Asian Arsenic Network (AAN) of Japan suspect that groundwater of maximum districts of the country are seriously contaminated with arsenic. There are so many tube wells are highly arsenic contaminated in the affected districts and approximately about 75 Million people of the affected districts are at risk and the total number of patients suffering from Arsenicosis are about 31,353 and out of which about 572 persons already died in few years. It is very much essential to arrange safe water supply for the peoples. To give safe arsenic free water to the people more investigations in the whole country is essential. It is also very essential to give attention to construct several big surface water reservoirs for drinking purposes because the groundwater of the maximum area of the country is highly arsenic contaminated. The source of arsenic in groundwater of Bangladesh is as yet unknown. But it is now widely believed that the high arsenic levels in the groundwater in Bangladesh have a natural geological source which may be due to abstraction water from different aquifers. In Bangladesh Groundwater from sandy alluvial deposits are considered to be arsenic free and it is completely depends on regional geological settings of a particular area. It is essential to consider the groundwater occurrences, its distribution and geological as well as hydro-geological settings of the country for the mitigation of arsenic problem. To know the basic understanding of the release mechanism, source and mobility of arsenic it is essential to investigate the sampling depth and aquifer provenance etc. Present study will give some clue about the future action plan for the mitigation of the arsenic problem in Bangladesh.

It has been experimentally proved by different Japanese researchers that the variation of heart disease mortality have a general relationship with the relative hardness of drinking water.

Core boring has been done in different locations in Samta village under Sharsa Police station of Jessore district, Bangladesh for the collection of soil samples for Analysis in the laboratory. About 50 g of each sample was dried at 110 C, and was powdered to a particle size ( $<63\mu\text{m}$ ) using an automatic agate pestle and mortar for 30 minutes. About 5 g of each sample was ignited at 1000C for 1 hour to examine LOI (Loss on ignition). Arsenic occurs in mud samples of the up section (4.6 to 6.4m, over 20 mg / l excluding one sample) and As /  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and As / Pb show significant projection in this horizon. In the natural system, As behaves similar to Pb thus As / Pb ratios may indicate As enrichment related to other reactions. As concentration, however, is still lower than that of average soil (As = 30 mg/l) thus higher concentration in groundwater should be considered as an active solution of As from the sediments. Major elements ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MnO, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and trace elements (Th, Sc, Pb, Cu, Zn, Zr and Sr) were analyzed using the RIX-2000 XRF system at Shimane University. Analyses of these elements were made on glass beads prepared with a flux (mixture of lithium tetraborate and lithium metaborate in ratios of 4:1) to sample ratio of 2: 1 followed by Kimura and Yamada (1996). Other trace elements (As, Ni, V and Cr) were analyzed by the power press method. Contents of total organic C (TOC) , total N (TN) and total S(TS) were measured after 1M-HCl treatment of 15 mg samples by combustion and gas chromatography using a Fisons (Carlo Erba) EA 1108 CHNS Elements Analyzer at Shimane University Sands show high concentration of  $\text{SiO}_2$ . Among other major elements,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO, K<sub>2</sub>O and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> show gradual increasing in the upsection. Muds contain rich organic matters revealed by higher LOI (Loss on ignition) over 8 wt %. They have TOC (total organic carbon) values over 1.0 wt%. Sands and muds have CC (carbonate carbon) values of about 0.3 wt%. The core sediments generally homogeneous compositions in terms of geochemical indices representing source rocks,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ , and Th/Sc ratios are examined with stratigraphy. These ratios show small variation in the column excluding middle portion of the horizon 27.7m and 28.9 m shown in  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  ratios, which may be due to influx of coarse sands.

Muds with rich organic matters generally concentrate metal elements and are utilized as mineral resources the reaction of such elements is complex and is proceeded through several stages. The present limited data could not reveal wholistic reaction of As concentration in the sediment samples, nor As contamination of groundwater. The present study, however, demonstrates the relationship of As concentration with other possible guide elements having similar behavior. Arsenic generally behaves very much like divalent Fe and they correlate well in concentration. The samples show positive correlation between  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and As ( $R^2=0.71$ ) suggesting that Fe may be a guide element for As concentration in ground water of Bangladesh.

It is now widely believed that maximum area of the country belongs to highly arsenic contaminated and for this reason it is most essential to create alternate safe drinking water source and surface water may be the safest source for drinking water and that can be arranged in different parts of the country. Priority should be given to the following points for the mitigation of arsenic problem in Bangladesh and give people access to arsenic free water.

- a) Arsenic affected areas on the Ganges Delta are so vast and there is a huge population. To save these huge population of the country all sorts of help from the experts, national, international organizations and NGO's all over the world are expected to come forward to carry out field investigations and to take proper measures for the mitigation of arsenic calamity in Bangladesh.
- b) If precautionary measures against arsenic contamination are not taken immediately, consequences like death of many people will be inevitable and massive. Awareness raising about the issue among the people should be the first step for precaution.
- c) Without quality assured data correct steps can not be taken for the mitigation of arsenic problem of Bangladesh. Establishment of Quality assurance in the analysis of soil and water samples related to Arsenic problem is very important.
- d) Essential to find out the exact and possible sources of arsenic in the groundwater in the arsenic affected areas of the whole country.
- e) It is also very important to know the mechanism of arsenic contamination in groundwater.
- f) Not to jump from one local explanation to a nation wide or basin wise explanation because there is no reason to think that these answers will be applicable in all cases.
- g) To identify arsenic patients and initiate their treatment. Skin test is the most reliable to detect chronic arsenic poisoning.
- h) Surface water such as ponds, lake, river can be used as a source of drinking water after boiling it. Rain water can be another safe source of drinking water.
- i) Immediately identify the high risk zone of arsenic. The people of the area should stop drinking highly arsenic contaminated tube well water.
- j) Sophisticated laboratory facilities should be developed to detect arsenic concentration in tube well water as well as that in human body.
- k) Efficient watershed management is necessary for our survival.
- l) Arrange to supply arsenic free drinking water because safe water is the best medicine for the people of the arsenic poisoning areas.
- m) It has been experimentally proved by different Japanese researchers that the variation of heart disease mortality have a general relationship with the relative hardness of drinking water. It should be investigated properly also for our case.



## DIAGNÓSTICO Y MITIGACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE MINERALES AURÍFEROS.

**MSc. Antonio Vera blanco, MSc. Pilar Pacheco Cabrera**

*Instituto de Geofísica y Astronomía, calle 212 No.2906 entre 29 y 31, CP 11600, La Habana Cuba*

### RESUMEN.

En el trabajo se utilizaron técnicas de pronóstico de generación de drenaje ácido y movilidad de componentes, caracterizándose los residuos sólidos y líquidos que se generarán durante la explotación y procesamiento del mineral.

Se pronostican drenajes ácidos con movilidad de componentes tales como sulfatos, Fe, Mn, y Al.

Para caracterizar el mineral se utilizaron las pruebas predictivas, obteniéndose como resultado un Potencial de Neutralización Neto negativo, lo que indica la posibilidad de producción de drenajes ácidos.

Se proponen acciones correctivas con posibilidades de materializarse para la mitigación de los riesgos ambientales. El trabajo finaliza con un Plan de Monitoreo para el control de los focos contaminantes y la comprobación de las medidas mitigadoras.

### ABSTRACT

In the work there were used prediction techniques of acid drainage generation and of components mobility, being characterized the solid residuals and liquids that will be generated during the exploitation and processing the mineral.

Acid drainage was predicted with mobility of components as sulfates, Fe, Mn, and Al.

For the characterization of the mineral there were used predicting tests, being obtained a negative Net Neutralization Potential as a result, what indicates the possibility of production of acid drainage.

Were proposed fixed actions with possibilities of being materialized for the mitigation of the environmental risks. The work ends with a Monitoring Plan for the control of the polluting focuses and the confirmation of the mitigation actions.

### INTRODUCCIÓN

La minería siempre implica la extracción física de materiales de la corteza terrestre, con frecuencia en grandes cantidades para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto deseado. Por eso resulta imposible que la minería no afecte al medio ambiente, al menos en la zona de la mina. De hecho, algunos consideran que la minería es una de las causas más importantes de la degradación medioambiental provocada por los seres humanos.

Los recursos minerales, como parte de los recursos naturales, se integran en el propio sistema multidimensional que configura el medio ambiente. El ser humano mediante la extracción de los recursos naturales y transformación posterior en productos y residuos, introduce lo que se denomina el medio ambiente transformado y cuya incidencia puede haberse concretado sobre el medio físico, químico, biótico y social.

Como todo proyecto minero, está íntimamente ligado al medio ambiente y forma parte del desarrollo sostenible. Para mantener un equilibrio entre ambos, sus efectos no deben superar los índices de renovación o consumo, ni la capacidad de acogida del terreno o asimilación de los componentes.



La explotación y procesamiento de los recursos minerales, dentro de una política global de desarrollo industrial y, al mismo tiempo, de conservación del medio ambiente, debe realizarse con el concurso de una serie de factores que permitan una gestión con una visión racional e integradora.

Actualmente existe la posibilidad de procesar el mineral de Oro y plata de la zona oxidada de Santa Lucía, en la planta de Oro Castellanos de Pinar del Río, por el método de percolación en lotes.

Este mineral fue depositado durante el destape de la mina Santa Lucía y se encuentra situado en la zona norte de la cantera.

Para lixiviar el oro y la plata del mineral se utilizarán soluciones cianuradas, que producen residuales con altos niveles de contaminantes, que deben ser removidos o destruidos antes de ser vertidos al medio ambiente, pues de lo contrario afectarían las aguas subterráneas, aguas superficiales y al aire como consecuencia de la evaporación.

Los residuales líquidos que se generarán estarán constituidos principalmente por: Cianuros simples solubles e insolubles, complejos de cianuros solubles e insolubles, metales, y otros.

Además de los residuos líquidos del procesamiento se producirán residuos sólidos, como es el mineral agotado de la lixiviación. La disposición de estos residuos puede generar drenajes ácidos y movilidad de componentes como: Hierro, plomo, níquel, zinc, cobre, cianuros y otros; que pueden afectar las aguas. De ahí la importancia que tiene la predicción del comportamiento de los residuos sólidos en el medio ambiente, que ayuda a diseñar un apropiado manejo de disposición de dichos residuos, disminuyendo los impactos negativos López et al, (2002).

En el proceso de cianuración y precipitación con zinc la solución de cianuro es recirculada al proceso; pero en caso de desbalance hídrico o acumulación de metales que perjudiquen el proceso industrial, es necesario desechar una parte de esta solución; la cual no debe ser descargada al medio ambiente sin previo tratamiento, ya que esta solución tiene contenidos significativos de cianuros, metales y sólidos totales Boyle et al, (1994)

Por tal motivo se ejecuta el siguiente proyecto, que tiene como objetivo, el diagnóstico y mitigación de las afectaciones que produce al medio ambiente la explotación y procesamiento de minerales auríferos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

Para la predicción de la generación de drenaje ácido se utilizó la técnica de predicción estática ácido – base (ABA – modificado), que examina el balance químico entre los componentes productores y consumidores de ácido en el material. Este método permite obtener la capacidad de neutralización de la muestra, determinando el ácido consumido durante la digestión con un exceso de éste, comparando el resultado con el potencial ácido calculado del análisis del sulfuro.

Para la movilidad de componentes del material, se utilizó el procedimiento del agua meteorizada en columnas que consiste en: Las muestras se preparan llevándolas hasta – 50 mm. Se toma 5 Kg de cada muestra y se coloca en una columna de 15 cm de diámetro interno y se le hace pasar un volumen equivalente de agua meteorizada sintética (pH 5 con





ácido nítrico) durante 24 horas. Se toma muestra del efluente para analizar los componentes. Según el procedimiento MWMP, Método del Estado de Nevada.

Los métodos de análisis para la determinación de los parámetros se resumen en la tabla I.

**Tabla I Parámetros y Métodos de análisis.**

<b>Parámetro</b>	<b>Métodos</b>
Ni, Fe, As, Mg, Na, Sr, Co, Cr, Pb, Cd, Hg, Te, Mn, Sn, Al, Ca, Mo, Zn, Sb, Si, V, Se, Ba.	Análisis por espectrometría con plasma acoplado por inducción (ICP-AES) – Norma ISO.
CN <sub>t</sub>	Destilación – Standard Methods, fifteenth edition, 1980.
CN <sup>-</sup>	Volumétrico, Colorimétrico – Standard Methods, fifteenth edition, 1980.
Cl <sup>-</sup> , pH	Potenciométrico – Norma ISO.
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Gravimétrico – Norma ISO.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### Minerales.

Los depósitos de las menas oxidadas depositadas artificialmente del yacimiento de Santa Lucía se sitúan en el franco norte de su lugar de origen y a una distancia que varía entre los 100 m (depósito I) y 800 m (depósitos II, III y IV).



Las características de los minerales depositados de Santa Lucía se muestran en la Tabla II.

**Tabla II. Características de los minerales depositados de Santa Lucía**

<b>Parámetros (g/kg)</b>	<b>D-I</b>	<b>D-II</b>	<b>D-III</b>	<b>D-IV</b>
Ni	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Co	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Mn	0,19	0,14	0,17	0,16
Fe	269,3	112,1	216,2	263,8
Cr	0,33	0,23	0,11	0,28
V	0,82	0,04	0,04	<0,012
Pb	48,1	14,8	19,5	20,5
Al	24,3	9,3	12,8	10,6
As	1,8	1,3	1,7	2,7
Cd	0,022	0,00013	0,045	0,023
Cu	0,2	0,24	0,41	0,32
Ca	1,1	2,7	0,17	0,58
Mg	1,4	0,73	1,4	0,55
Hg	0,004	0,0125	0,0318	0,042
Mo	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Na	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
K	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Se	<0,032	<0,032	<0,032	<0,032
Zn	0,93	2,1	0,46	0,44
Sb	0,2	0,48	0,44	0,73
Si	203,3	172,2	91,5	104,6

#### **Pruebas de drenaje ácido de los minerales de los depósitos I, II, III, IV.**

Los minerales depositados pueden tener un impacto ambiental negativo por la lixiviación producida por acciones climáticas.

Estos fenómenos pueden producir efluentes ácidos debido a la oxidación química y biológica de los minerales sulfurados, tales como pirita y otras especies contenidas en los mismos. La predicción del comportamiento de estos minerales ayudaría a diseñar un apropiado manejo, lo cual reduciría los riesgos y costos asociados al impacto negativo en el medio ambiente; motivo por lo cual decidimos realizar la prueba estática estándar de conteo ácido base modificado.



Las pruebas fueron realizadas a 4 muestras pertenecientes a los depósitos I, II, III, IV. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

**Tabla III. Potencial de Neutralización**

Muestra	Potencial de neutralización (kg CaCO <sub>3</sub> x t de mineral)
D-I	- 12.76
D-II	- 5.11
D-III	- 5.99
D-IV	- 6.59

**Tabla IV. Potencial Ácido.**

Muestra	Potencial Acido (kg CaCO <sub>3</sub> equivalente x t)
D-I	81.42
D-II	55.37
D-III	27.17
D-IV	45.51

**Tabla V. Potencial de Neutralización Neto.**

Muestra	PN neto (kg CaCO <sub>3</sub> equivalente x t)
D-I	- 94.18
D-II	- 60.48
D-III	- 33.16
D-IV	- 51.74

La Prueba Estática dio como resultado un potencial de Neutralización Neto negativo, lo que indica la posibilidad de producción de drenajes ácidos, asociados con la liberación de metales en solución como aluminio, hierro, cobre, plomo, cadmio, manganeso, y otros.



### Pruebas de movilidad de los componentes de los minerales de los depósitos I, II, III, IV.

Para confirmar la posibilidad de lixiviación de metales de los minerales, se realizó la prueba de movilidad de componentes. Los resultados se presentan a continuación.

**Tabla VI. Resultados de la movilidad de los componentes de los minerales.**

Parámetros mg/L	D-I	D-II	D-III	D-IV
Ni	1.7	0.26	0.9	0.44
Fe	1590	2.3	7.0	2.7
V	0.6	0.047	0.14	0.16
As	<0.26	<0.26	<0.26	<0.26
Mo	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Co	1.1	0.11	0.25	0.28
Cr	0.95	<1.0	0.034	0.015
Pb	2.9	4.2	2.6	3.2
Cu	45	0.48	12	12
Se	<0.026	<0.026	<0.026	<0.026
Na	0.62	0.84	0.82	0.64
Ca	400	100	430	170
Mn	26	6.4	29	13
Sn	<0.026	<0.026	<0.026	<0.026
Al	600	11	170	220
K	0.45	2.8	0.2	0.49
Mg	100	17	30	31
Hg	<0.012	<0.012	<0.012	<0.012
Zn	350	27	600	26
Sb	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Si	47	170	230	290
Cd	5.2	0.19	2.6	0.22
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	9550	390	3140	1870
Índice de pH	2	3.2	4.1	2.9

Como se demuestra en los resultados de las pruebas de movilidad los valores de los pH son de 2 a 4.1 en los efluentes, coincidiendo estos con los valores negativos obtenidos en el test de drenaje ácido. Ver Tabla VII.



**Tabla VII. Resumen de los resultados de las tablas V y VI.**

Depósitos	pH del efluente de movilidad	PN neto (kg CaCO <sub>3</sub> equivalente x t)
I	2.0	- 94.18
II	3.2	- 60.48
III	4.1	- 33.16
IV	2.9	- 52.10

Las pruebas de movilidad de componentes de los depósitos I, II, III y IV dieron valores significativos de Fe, Cu, Pb, Ca, Mn, Al, Mg, Zn, Si y SO<sub>4</sub>.

#### **Caracterización de los residuos sólidos del procesamiento del mineral del depósito D-IV.**

Las pruebas tecnológicas a escala de banco fueron realizadas con el mineral del Depósito IV motivo por lo cual solo se caracterizaron los residuos que genera el procesamiento de este mineral.

Como residuos sólidos del procesamiento se obtienen las colas, cuyas propiedades dependerán no solo de las características del mineral antes analizado, sino del proceso de aglomeración (con adición de cal y cemento), lixiviación (con solución de NaCN), volumen de lavado y drenado.

#### **Pruebas de movilidad del mineral del depósito D-IV lixiviado en columna.**

Los resultados de la prueba de movilidad de las colas del depósito IV se presentan en la Tabla VIII.

**Tabla VIII. Resultados de la prueba de movilidad de las colas.**

Parámetros mg/L	D-IV
Mn	< 0.02
Fe	0.2
Pb	0.48
AL	1.2
Cd	< 2.0
Cu	0.66
Ca	15
Mg	0.19
As	0.095
Zn	< 0.02
Hg	0.000134
Sb	0.092
Si	4.2

Con respecto a los resultados de movilidad de componentes del mineral (ver Tabla VI) los resultados de la Tabla VIII son inferiores, debido a las condiciones del proceso de lixiviación y lavado, aunque se mantienen el Pb, Cu y As de forma significativa.



### **Análisis de cianuro total al mineral lixiviado y lavado en columna.**

Se le realizó análisis de cianuro total a los sólidos (colas) procedentes de las columnas tecnológicas, después de lavadas y drenadas, dando como resultado 6.34 mg de CN por kg de cola y 15.65 % de humedad.

### **Pruebas de drenajes ácidos al mineral del depósito D-IV lixiviado en columna.**

La prueba de drenaje ácido al mineral lixiviado y lavado en columna, se realizó al igual que en el epígrafe 3.2., dando como resultado los siguientes valores presentados en las Tablas IX – XI.

Tabla IX. Potencial de Neutralización

Muestra	Potencial de neutralización (kg CaCO <sub>3</sub> x t)
D-IV	9.95

Tabla X. Potencial Ácido

Muestra	Potencial ácido (kg CaCO <sub>3</sub> equivalente x t)
D-IV	27.55

Tabla XI. Potencial de Neutralización Neto

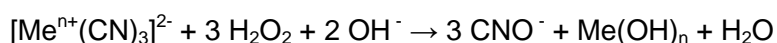
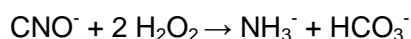
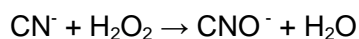
Muestra	PN neto (kg CaCO <sub>3</sub> equivalente x t)
D-IV	-17.6

Como se observa aun queda la posibilidad de que las colas generen drenaje ácido, ya que su Potencial de Neutralización Neto dio valor negativo, a pesar de que en la lixiviación se utiliza cemento y cal en la conformación de los pellets.

### **Tratamiento de los residuales líquidos.**

El tratamiento de los cianuros en la Empresa Oro Castellanos se realiza por el método de oxidación con peróxido de hidrógeno.

La oxidación de los cianuros con peróxido de hidrógeno se produce por las siguientes reacciones:







La utilización del peróxido de hidrógeno en el tratamiento de los cianuros se recomienda para concentraciones de cianuros mayores a 1000 mg/L, con consumos de 5 a 6.5 gramos de peróxido de hidrógeno por gramos de cianuro, a un pH de 10,5.

Para concentraciones de cianuros en aguas residuales menores que 1000 mg/L los consumos de peróxido de hidrógeno, así como el tiempo de retención para completar la reacción aumentan considerablemente, lo que afecta económicamente Kostiuk et al, (1990) y Menne (2003)

Una variante utilizada para enfrentar este inconveniente es el uso de agitación intensa y adición de cobre (II) como acelerador de la reacción de oxidación.

### **Perfeccionamiento del tratamiento actual.**

El sistema actual de tratamiento de los cianuros, en la Empresa Oro Castellanos, se realiza directamente en la laguna de emergencia y en el canal que conduce las aguas pluviales hacia la presa de agua industrial. Se utiliza solo peróxido de hidrógeno y los consumos son de 10 a 12 g de  $H_2O_2$  / g de CN.

Para el mejoramiento del tratamiento actual se propone la aplicación de un control más estricto de las aguas que se vierten a través del canal hacia la presa de agua industrial mediante la instalación de:

- Un medidor de flujo en el canal
- Un sistema de dosificación automática del peróxido de hidrógeno (tanque dosificador, válvula electrónica de dosificación y potenciómetro con electrodos calomel y de oro para el control del potencial REDOX.
- Un sistema de dosificación automática del hidróxido (tanque dosificador, válvula electrónica de dosificación y potenciómetro con electrodo combinado de pH)
- Y la terminación del canal, cementándolo hasta la presa, con tabiques para aumentar la turbulencia.

### **Identificación de focos contaminantes y mitigación.**

La conclusión del diagnóstico determinó tres componentes de contaminación fundamentales:

- Potencial de Neutralización Neto, negativo, en el mineral y en las colas del proceso por lo que hay la certeza de que se genere drenaje ácido.
- Control insuficiente de los residuales, en el tratamiento de oxidación de los cianuros con peróxido de hidrógeno.
- Posibilidad de vertimiento, hacia los cuerpos receptores, de metales pesados tales como: Pb, Cu, As, Fe, Mn, Al y Zn; y de  $SO_4^{2-}$ .



De aquí se derivan un grupo de afectaciones:

- En el minado
  - a) por incrementos de los drenajes ácidos, causados por la composición del material que quedará aun más expuesto al intemperismo, lo que aportará también metales pesados y sulfatos a las aguas.
  - b) por la red fluvial que está próxima a los depósitos, que causará problemas de arrastres de sólidos.
- En áreas de trituración y aglomeración del mineral
  - c) por contaminación de las aguas pluviales que tengan contacto con el sólido depositado: en la tolva o área exterior, en el suelo, y caídas de sólidos durante las operaciones.
- En lixiviación
  - d) por volatilización del cianuro debido a la disminución del pH de la solución, durante la irrigación de los lotes.
  - e) por violaciones de la conformación de las pilas (lotes), causando caída de material y derrames del material sólido y licor rico hacia canales y drenajes pluviales.
  - f) por rotura del Liner que provocaría infiltración de licor rico con cianuro.
  - g) por errores de operación y deficiencia, en el método de tratamiento de oxidación del cianuro empleado, lo que causará la contaminación en las aguas.
  - h) por derrames de lodo, de los filtros, durante su trasiego hacia los lotes.
  - i) por vertimientos, no controlados de aguas con contenido de cianuros, debido al reboso de las lagunas de emergencia y del licor agotado.
  - j) por vertimientos de aguas pluviales contaminadas con cianuro, debido a la existencia de material sólido en el drenaje pluvial o por mala operación de los drenajes de los lotes o dificultades en el tratamiento en la canal.
  - k) por contaminación producida por los drenajes de las colas con contenidos de cianuros y metales.
- En planta de precipitación y fundición
  - l) por incrementos de material a fundir, que elevan la formación de polvos con contenidos de zinc y plomo.
  - m) por disminución del pH de la solución rica de entrada al proceso.



Las medidas de mitigación para los diferentes focos de contaminación (organizados o no) que puede producir el procesamiento de este mineral, se muestran a continuación:

- Evitar la instrucción de aguas pluviales al área de los depósitos mediante zanjas perimetrales.
- Conducir las aguas de los drenajes, del área del frente de minado, hacia un dique de retención de los sólidos arrastrados por las aguas, y construido con piedras calizas para que permita la neutralización de la acidez.
- No realizar el minado en varios frentes, a la vez, ya que impediría el control de los drenajes ácidos.
- No acumular mineral o rocas en el área externa de la tolva.
- No humidificar las áreas antes de la recogida del mineral ó pellets.
- Crear en las áreas colindantes a la lixiviación barreras geológicas con suelos ó capas de humus, con el fin de aumentar la atenuación del cianuro en suelos.
- No exceder las alturas de los lotes (3 metros).
- Recogida inmediata de cualquier material sólido derramado ya sea en suelo o canales.
- Las aguas pluviales no podrán ir directamente hacia ningún tipo de cuerpo receptor sin antes ser tratadas, por lo que debe automatizarse la dosificación y controlarse el flujo en el canal, perfeccionar este sistema según las especificaciones dadas en el epígrafe 3.9.
- Cumplir sistemáticamente con el vaciado de las lagunas de emergencia y de las lagunas de los drenajes de las coleras, no sin antes, realizar la adecuación del pH, con la adicción de cal, y la destrucción de los cianuros con peróxido de hidrógeno.
- Uso de sistema forzado de extracción de los gases del horno. Diseño de una campana de extracción que cubra el área de trabajo y descarga del horno; con el uso de lavador de gas de choque tipo Doyle o Rotoclón N.



### Plan de monitoreo.

Adicionar el siguiente monitoreo al gráfico de control analítico actual (ver Tabla XII):

**Tabla XII. Monitoreo.**

<b>En residuales líquidos</b>			
<b>Control</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Frecuencia</b>
Licor rico con cianuro	En la laguna de licor rico	pH	Diaria
Aguas de la laguna de emergencia, canal a la presa de agua industrial, lagunas de las coleras	A la salida del sistema de tratamiento de cianuro, en la laguna de emergencia y laguna de drenaje de la colera	Cianuro libre, cianuros totales, potencial Redóx, sólidos totales, pH, flujo.	Registro automático del potencial Redóx y pH, en el tratamiento; toma de muestra compósito durante 24 horas para sólidos totales y cianuros totales, y análisis de cianuros libres cada 3 horas durante la operación de tratamiento.
<b>En desechos sólidos</b>			
<b>Control</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Frecuencia</b>
Colas con contenido de cianuro	Colera o lote agotado después del lavado	Cianuros totales al sólido	En la colera, trimestral y en el lote agotado, antes de ser depositado
<b>En emisiones de gases</b>			
<b>Control</b>	<b>Punto de muestreo</b>	<b>Indicador</b>	<b>Frecuencia</b>
Partículas finas de polvo con contenido de zinc y plomo.	Área de fundición	Polvo en suspensión y polvo sedimentable. Pb y Zn	Semanal durante la fundición.

### CONCLUSIONES.

1. La Prueba Estática de conteo ácido básico, practicada a los residuales sólidos, dio como resultado un potencial de Neutralización Neto negativo, lo que indica la producción de drenajes ácidos.
2. Las pruebas de movilidad de componentes practicadas a los residuos sólidos dieron como resultados niveles significativos de sulfatos y otros componentes como Pb, Cu, As, Fe, Mn, Al y Zn.
3. Es posible mejorar el sistema de tratamiento actual con la adición de cobre(II), como acelerador de la reacción de oxidación de los cianuros.



## BIBLIOGRAFÍA.

- Boyle J. R., C. W. Smith, 1994. "Assessment of an inactive cyanide heap leach stack located in the Southeastern United States", The International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the Tirad International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburg, April 24 – 29.
- Kostiuk V. I., G. S. Karnauj, 1990. "Tratamiento de aguas residuales de industrias de maquinarias para la construcción". Kiev, Ed. Técnica, Pág. 120.
- López E., O. Aduvire y D. Basettion, 2002. "Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina, estado actual y perspectivas de futuro", Boletín Geológico y minero, 113 (1); 3 – 21,
- Menne D. M., 2003. Managing cyanide in waste discharges. Available: <http://members.iinet.net.au/~menne/cnmanage.htm>

## GEOQUÍMICA Y CONCENTRACIÓN DEL Au y MEGP EN LOS PLACERES ASOCIADOS A LA FAJA OFIOLÍTICA MAYARÍ-BARACOA (CUBA ORIENTAL).

**Roberto Díaz Martínez<sup>(1)</sup>, Joaquín Proenza<sup>(2)</sup>, Joan Carles Melgarejo y Draper<sup>(2)</sup>, Alberto Vila Sánchez<sup>(1)</sup>**

(1)Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. , Las Coloradas Moa. Holguín, Cuba s/n CP 83329 E-mail: [rdmart@ismm.edu.cu](mailto:rdmart@ismm.edu.cu)

(2) Departament de Crist·lografia i Dipòsits Minerals.Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. Martí i Franques s/n 08028, Barcelona. E-mail: [joaquin@geo.ub.es](mailto:joaquin@geo.ub.es)

### RESUMEN

En los placeres del nordeste de Cuba se concentran granos de minerales de oro y partículas de elementos del grupo del platino (MEGP). El placer lateral de playa Mejías contiene finas partículas de oro compuestas mayoritariamente por aleaciones intermetálicas correspondientes a electrum, con contenidos de Ag que oscilan entre 37 - 63 % en peso, Au nativo (88 - 97 % en peso de Au) y Hg con valores de hasta 20 % en peso. El contenido de oro en la fracción no magnética del placer Mejías es de 867 ppb. Las partículas de minerales de elementos del grupo del platino presentan composiciones variables, intermedias entre la serie laurita-erlichmanita, y en ellas pueden reconocerse zonas con proporciones variables de azufre, lo que sugiere una composición no estequiométrica. Términos ricos en componente laurita son los únicos minerales de EGP del placer Mejías. La fórmula estructural promedio obtenida es  $(\text{Ru}_{0.51}\text{Os}_{0.39}\text{Ir}_{0.05}\text{Pt}_{0.02}\text{Fe}_{0.01})_{0.98}(\text{S}_{1.96}\text{As}_{0.04})_2$ . El placer lateral de playa Jiguaní contiene partículas de oro nativo, y aleaciones intermetálicas de Au-Cu. El contenido de Au a nivel de partícula oscilan entre 88.4 y 100.23 % en peso y el de Cu entre 0.08 y 3.95 % en peso, mientras que el contenido de Ag es prácticamente insignificante. En los placeres aluviales de esta región (Quesigua, Cayo Guam, etc) los valores de concentración de los EGP (ppb) son: Ir-10, Os-6, Pd-217, Rh-127 y Ru-7.

### ABSTRACT

The gold grains and particles of EGP in the placers of the northeast of Cuba are concentrate. The playa Mejías lateral placer contain fine particles of gold, composed for the most part by alloys corresponding to electrum, with contents of Ag that oscillate among 37 – 63 wt. % , native Au (88 – 97 wt.%) and Hg with values of up to 20 wt.%. The content of gold in the non magnetic fraction of the Mejías placer is of 867 ppb. The particles of MEGP present intermediate compositions between the laurita-erlichmanita series, and in them areas can be recognized with proportions variables of sulfur, that suggests a composition non stequiometric. Rich terms in component laurita are the only minerals of EGP of the Mejías placers. The obtained formula structural average is  $(\text{Ru}_{0.51}\text{Os}_{0.39}\text{Ir}_{0.05}\text{Pt}_{0.02}\text{Fe}_{0.01})_{0.98}(\text{S}_{1.96}\text{As}_{0.04})_2$ . The playa Jiguaní lateral placer contains particles of gold, and alloys of Au-Cu. The content of Au at particle level oscillates between 88.4 and 100.23 wt.% and Cu between 0.08 and 3.95 wt.%, while the content of Ag is practically insignificant. In the alluvial placers of this region (Quesigua, Cayo Guam, etc) the values of concentration of the EGP (ppb) they are: Ir-10, Os-6, Pd-217, Rh-127 and Ru-7.

### INTRODUCCIÓN

En el nordeste de Cuba se desarrollan placeres de diversos tipos genéticos asociados a la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (FOMB), los cuales concentran minerales de oro y de Elementos del Grupo del Platino (MEGP).



Los placeres de tipo eluvial son pocos conocidos y en la actualidad solamente se reporta el sector Cabañas, que se desarrolla dentro de las lateritas ferroniquelíferas afectadas por intensos procesos de silicificación.

Los placeres aluviales han sido estudiados con anterioridad (Morales, 1987) y pertenecen al subtipo barras e islas aluviales que se desarrollan en los afluentes principales de los ríos que drenan la FOMB.

En la costa atlántica existen importantes placeres de playa; tal es el caso del placer Mejías, primer ejemplo de placeres laterales marinos descubierto en el noreste de Cuba (Kulaskov et al., 1990). A este tipo de placer se incorporan otros de menor importancia como es el placer Jiguaní ubicado en la desembocadura del río del mismo nombre.

El objetivo de este trabajo es dar a conocer el quimismo mineral y concentración de las asociaciones de minerales de oro y EGP presentes en los distintos tipos genéticos de placeres asociados a la FOMB, con el fin de determinar las fuentes primarias y el posible valor que revisten para la prospección.

### MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio, situada en el NE de Cuba Oriental, ocupa un área de aproximadamente 1500 km<sup>2</sup> (Fig. 1). En la misma afloran rocas de afinidad ofiolítica, materiales volcánicos y vulcanógeno-sedimentarios asociados a un arco de islas Cretácico, materiales asociados a cuencas postvolcánicas transportadas del Campaniense Tardío al Daniense, rocas volcánicas y vulcanógeno-sedimentarias pertenecientes al arco de islas del Terciario, materiales asociados a cuencas transportadas del Eoceno Medio al Eoceno Superior y materiales asociados a un estadio neoplatáformico (neautoctono, según Iturralde-Vinent, 1994) desde el Oligoceno a la actualidad.

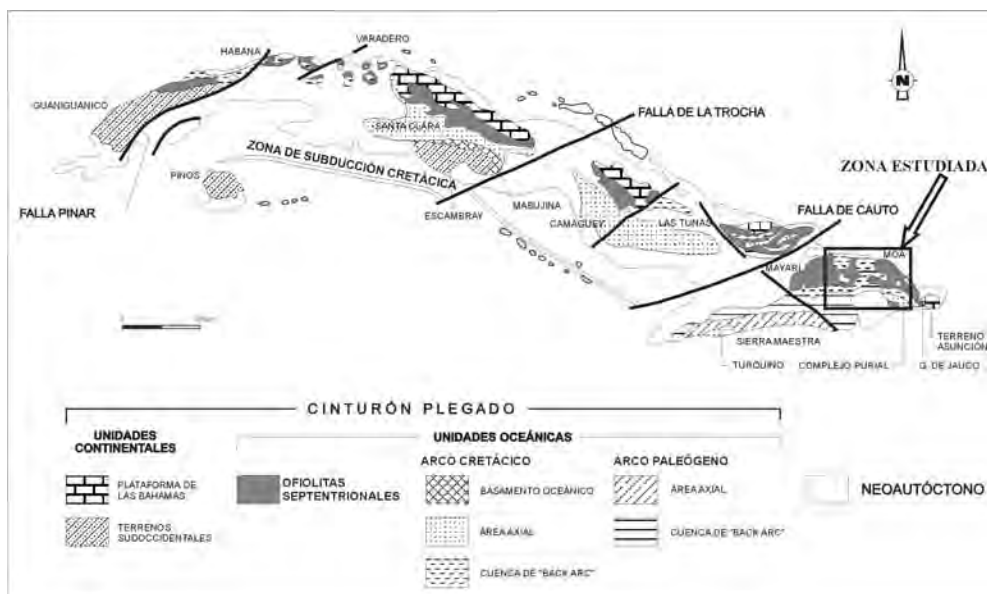


Figura 1. Mapa geológico esquemático de Cuba, mostrando los afloramientos del cinturón plegado y del neautoctono (adaptado de Iturralde – Vinent, 1996).

Las rocas de afinidad ofiolítica están representadas por los complejos ultramáfico, de gabro y vulcanógeno-sedimentario. Todas estas secuencias constituyen la denominada Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa.

El complejo ultramáfico está constituido por dos zonas muy contrastante desde el punto de vista petrológico: una zona inferior constituida por harzburgitas con textura de tectonitas y, en menor medida, por dunitas; además se han descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas y piroxenitas (Torres, 1987; Andó et al., 1989; García y Fonseca, 1994; Proenza et al., 1999a, 1999b); estas rocas conforman la secuencia mantélica con un espesor aproximado de paleomanto superior a 2.2 km (Proenza et al., 2003). Una zona superior constituida por harzburgitas con textura cumúlítica, que contiene principalmente cuerpos de dunitas, peridotitas "impregnadas" (con plagioclasa y clinopiroxeno), sills de gabros, diques de gabros y pegmatoides gabroicos, así como cuerpos de cromititas; esta zona es representativa de la zona de transición manto-corteza conocida como la *Moho Transition Zone*.

El complejo de gabros está constituido por grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de los mismos oscila entre 1 y 3 km de ancho, por 10 a 15 km de longitud. El contacto entre los gabros y el complejo ultramáfico generalmente es tectónico. Los gabros muchas veces están cubiertos por mantos de rocas ultramáficas (Fonseca y otros, 1985), aunque Andó y otros (1989) plantean que en algunos sectores el contacto es transicional. Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronoritas, gabros, anortositas y noritas (Fonseca y otros, 1985; Torres, 1987; Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a, 1999b).

El complejo volcánico-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico (Proenza, 1997; Proenza y otros, 1999a; 2000) y está representado por basaltos amigdaloides y porfíricos (algunas veces con estructura de almohadilla), con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de *cherts* y calizas. Este complejo es sobreyacido, en algunas localidades (Centeno, Calentura, etc.) por capas de silicitas con radiolaritas.

Las rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de edad Cretácico están representadas por la Fm. Santo Domingo. Esta se compone por tobas y tufitas con cuerpos de lavas y calizas intercalados (Iturralde-Vinent, 1976; Proenza y Carralero, 1994). Los materiales de la Fm. Santo Domingo se encuentran imbricados tectónicamente con las ofiolitas de la Faja Mayarí-Baracoa. Muchas veces los contactos coinciden con zonas que presentan una mezcla de bloques de vulcanitas pertenecientes al arco y de ofiolitas. Las rocas representativas de esta formación afloran hacia la parte centro occidental de la región de estudio (al norte y sur de la Sierra Cristal), en la parte alta de la cuenca del río Sagua de Tánamo, en la zona de Farallones - Calentura y en una pequeña área en la localidad de Centeno.

El complejo Cerrajón de edad Aptiano-Turoniano (Rodríguez, A., 1998 y Ramayo, L., 2003), representante de la actividad volcánica Cretácica en la región de estudio, está compuesto por diques subparalelos de diabasas, gabro-diabasas, por microgabros de espesores variables entre 0,8 y 2,5 m y por volcanitas basálticas y andesito-basálticas (Gyarmati, 2001; Ramayo 2003). Este complejo constituye el encajante de las mineralizaciones hidrotermales Hato Viejo y El Rifle-Los Calderos, constituidas por cuerpos filonianos y brechas hidrotermales respectivamente con presencia de fases minerales de Ag y Au, rodeadas por aureolas de alteración fílica, argílica y propilitica, emplazadas dentro de este complejo (Ramayo, 2003).

Los materiales asociados a las cuencas postvolcánicas transportadas del Campaniense Tardío-Daniense se componen de las formaciones Micara y La Picota. Dentro de estas formaciones se encuentran secuencias típicamente olistostrómicas y con características de *melange* (Fm. La Picota y parte de la Fm. Micara), las cuales están compuestas por fragmentos y bloques procedentes de la secuencia ofiolítica y de las rocas volcánicas Cretácicas (Quintas, 1989). En consecuencia, estas unidades litoestratigráficas constituyen un registro temporal del proceso emplazamiento tectónico (obducción) de las ofiolitas, el cual estuvo enmarcado en el tiempo de desarrollo de estas cuencas.

Entre el Paleoceno Inicial y el Eoceno Medio Inferior se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla y en la región de estudio está representada por la Fm Sabaneta (Iturralde-Vinent, 1976, 1995; Proenza y Carralero, 1994; Quintas et al., 1995), la cuál ha sido depositada en una cuenca de back arc (Iturralde-Vinent, 1996). La unidad se compone de rocas epiclásticas (tobas, tufitas) (Iturralde-Vinent, 1976, 1996b; Proenza y Carralero, 1994; Quintas et al., 1996, García, M., et al., 1996). Las rocas pertenecientes al arco de islas volcánico del Paleógeno yacen sobre los materiales deformados del arco Cretácico, las ofiolitas y las cuencas de *piggy back* del Campaniense Tardío-Daniense.

Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno están representadas por calizas organo-detríticas, aporcelanadas, algaceas y margas (Nagy y otros, 1976), margas y calizas (Albear y otros, 1988; Quintas, 1989, 1996), calizas compactas organo-detríticas, fosilíferas, de color variable. En la parte inferior del corte son frecuentes las brechas. En esta parte predomina la estratificación gruesa, mientras que en la superior la fina (Cobiella, 1978; Quintas, 1989, 1996; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990).

Por encima de esta secuencia sedimentaria yacen lutitas y margas con intercalaciones de lutitas y conglomerados con fragmentos de calizas arrecifales, serpentinitas y rocas volcánicas (Cobiella, 1978, Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990). Sobre yacen a esta secuencia conglomerados polimícticos con estratificación lenticular y a veces cruzada, débilmente cementada con lentes de areniscas que contienen lignito. La matriz es arenítica polimíctica, conteniendo carbonato. Esta secuencia se conoce en Cuba con el nombre de Formación Capiro (Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990; Crespo, 1996).

Por encima de esta formación yacen margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, lutitas y tobas (Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990).

La secuencia sedimentaria culmina con alternancia de lutitas, areniscas, arcillas calcáreas y calizas biodetríticas (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Crespo, 1996).

El "neoautóctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del "cinturón plegado", donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas, aparece representado en la región por las formaciones Majimiana del Oligoceno Superior-Mioceno Medio, Jagüeyes del Mioceno Inferior a Mioceno Medio y Júcaro del Mioceno Superior.

## MUESTREO Y MÉTODOS ANALÍTICOS

Se muestrearon los sedimentos de las playas Mejías y Jiguaní (11 y 5 muestras respectivamente), los detritos de los ríos Cayo Guam y Quesigua (10 y 13 respectivamente) y el eluvio del sector Cabañas (8 muestras). Todas las muestras (47 en total), excepto las de Mejías, se sometieron al lavado con batea de cedro.

La preparación de las muestras se realizó siguiendo un método secuencia de separación granulométrica, magnética y densimétrica. El resultado final fue la obtención de 216 granos de oro, distribuidos de la siguiente forma: 52 en los aluviones del río Quesigua, 39 en el río Cayo Guam, 78 en las arenas de playa Mejías y 47 granos en los sedimentos de la playa Jiguani.

Los granos de oro y de minerales de elementos del grupo del platino fueron colocados en una resina epoxy, pulidos y analizados mediante microscopía electrónica de barrido con analizador de energía (SEM-EDS) y microsonda electrónica.

El SEM utilizado fue un Cambridge Stereoscan-120 con analizador de energías. El analizador de energía acoplado es un EDS (*energy dispersive spectrometer*) constituido por un cristal de Si(Li) con ventana de Be distribuido por LINK. Este trabajo se realizó en los servicios científicos técnicos de la Universidad de Barcelona. Mediante esta técnica se identificaron los elementos químicos presentes en las diferentes partículas de oro y MEGP, los cuales serían cuantificados posteriormente por microsonda electrónica. Las condiciones de trabajo fueron de 20Kv para la obtención de imágenes de electrones retrodispersados (BSE-siglas en inglés) y análisis cualitativo.

La microsonda electrónica empleada fue una CAMECA SX-50 equipadas con cuatro espectrómetros de dispersión de longitud de onda (*WDS-wavelength dispersive spectrometer*). Esta técnica analítica permitió la realización de análisis químicos cualitativos mediante imágenes de rayos X, y análisis cuantitativos a nivel de granos. Las condiciones de trabajo fueron las siguientes: tensión de aceleración de 25 keV y una corriente de sonda de 20 nA. Se utilizaron los siguientes cristales, patrones y líneas espectrales: Au, oro metal L $\alpha$  (LIF); Ag, plata metal L $\alpha$  (PET); Cu, cobre metal K $\alpha$  (LIF) y Fe, hierro metal K $\alpha$  (LIF). Los elementos químicos determinados en los granos de oro fueron: Au, Ag, Hg, Cu e Fe.

Además se empleó de manera complementaria la potenciometría de redisolución anódica para el análisis cuantitativo del Au en las lateritas del sector cabaña, así como la Espectrometría de masa con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) para el análisis cuantitativo de oro y elementos del grupo del platino en los concentrados pesados de los ríos y playas. Se utilizó un ICP-MS Perkin Elmer Elan 6000 en el Genalysis Laboratory Services Pty. Ltd en Maddington, Australia.

## **GEOQUÍMICA Y CONCENTRACIÓN DEL ORO ALUVIONAR Y MINERALES DE ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO (MEGP) EN LOS PLACERES**

### **Partículas de oro en los materiales eluviales**

En los tres primeros horizontes del perfil laterítico no se revelaron granos de oro en los concentrados pesados, sin embargo en las muestras sin lavar y empleando el método potenciométrico de redisolución anódica los contenidos de oro de arriba hacia abajo fueron de 98, 141 y 30 ppb respectivamente.

El horizonte saprolítico refleja elevados contenidos de oro, con valores que alcanzan los 2000 ppb. Es precisamente este horizonte donde se reportaron 5 granos de oro. Los horizontes superiores del perfil no reportan oro libre. El oro del perfil laterítico de Cabañas presenta formas vagamente tabulares y globulares. Las texturas superficiales son rugosas, con numerosos poros y huecos de disolución. En superficie se observan pátinas de coloración

rojiza debido a las impurezas de óxidos e hidróxidos de Fe. El contorno de los granos es suave, algo redondeado y sinuoso.

La figura 2A corresponde a un grano con textura lisa, poco porosa. Los contornos del grano son rectos y su forma primaria es visible. Sin embargo el grano representado en la figura 3B indica textura esponjiforme. Según Wilson (1984) estas texturas caracterizan al oro secundario de los depósitos lateríticos formados en climas tropicales húmedos. Otros granos presentan texturas lisas poco porosas. En estos granos los contenidos de plata y oro son más homogéneos a nivel de grano y reflejan una composición próxima al electrum. Por tanto los granos de oro presentes en el perfil de intemperismo del sector Cabañas son primarios y secundarios.

En el proceso de meteorización, debido a la intensa corrosión química las texturas primarias y formas de los granos oro desaparecen transformándose en partículas redondeadas a sub-redondeadas con texturas muy porosas y esponjiformes; esta textura esponjosa se caracteriza por presentar una composición química homogénea, correspondiente a oro nativo muy puro, con más del 98 % en peso y una fineza de 992. Las figuras 3C y 3D son ampliaciones de la imagen 3B.

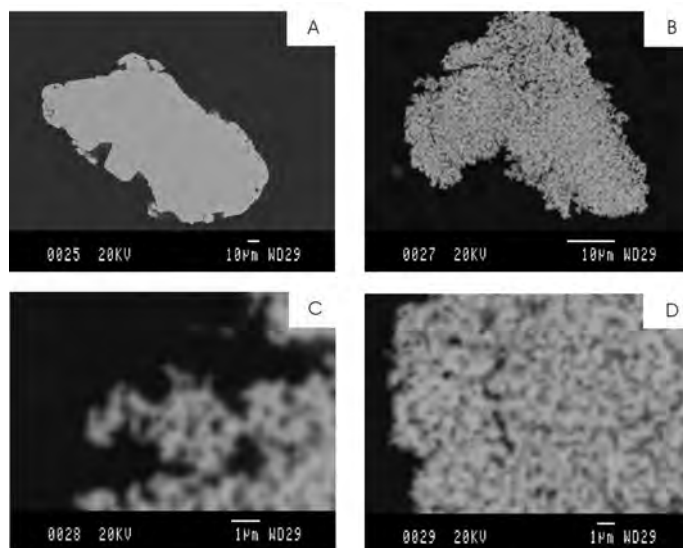


Figura 2. Imágenes de electrones retrodispersados de granos de oro identificados en el horizonte saprolítico del perfil laterítico del sector Cabañas. A- grano # 1; B-grano #2.

Las variaciones composicionales de los granos reflejada en los diagramas ternarios (Fig. 4) revelan composiciones correspondientes a oro nativo y electrum y oro nativo, electrum y tetrauricúprido.



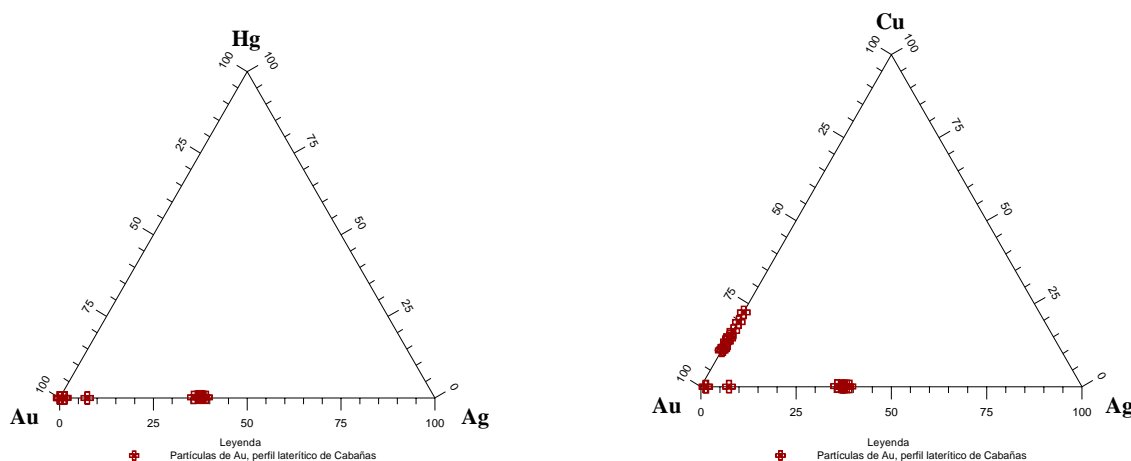


Figura 3. Diagramas ternarios correspondientes a los sistemas Au-AG-Hg y Au-Ag-Cu de los granos de oro del sector Cabañas.

Los contenidos de Au en el grano 1 varían considerablemente de un punto a otro del grano, con valores que oscilan entre 73.36 y 98.17 % en peso. La plata varía entre 0.62 y 25.24 % en peso. Los valores de cobre varían entre 0.00 y 0.08 % en peso, valores estos insignificantes.

La composición química del grano #2 también es muy variable, existiendo zonas con valores (% en peso) de oro y cobre próximos al tetraauricúprido (Au= 82,67-86,63 y Cu= 4.4-6.65) y el electrum (Au=71,80 y Ag= 25.15). Estos resultados indican que los granos de oro de las saprolitas del perfil de intemperismo del sector Cabañas tienen composiciones correspondientes a oro nativo, electrum y tetraauricúprido

#### Partículas de oro aluvionar

Los granos son alargados, con contornos muy irregulares, formas euhedrales, caras de octaedros y deformados por los efectos de impactos y rodaduras durante su transporte en medio fluvial; los bordes suelen ser cóncavos y convexos. La superficie es rugosa y con efectos de cariada, todo lo cual evidencia fenómenos de corrosión. La coloración de los granos es variable, observándose tonos de amarillo latón intenso hasta el amarillo claro y plateado. Estas variaciones de intensidades de colores y tonos se podrían explicar a partir del cambio de la composición química de las partículas. El oro de los aluviones generalmente se presenta de forma libre, aunque en ocasiones también se entrecrece con cuarzo, como sucede en el río Quesigua.

La composición química de los granos de oro es muy heterogénea. Las partículas presentan estructura compleja, con zonas enriquecidas en oro, oro-plata y Au-Cu. La textura interna es porosa debido a los efectos de corrosión provocadas por soluciones químicas.

Los diagramas ternarios (Fig. 4) contruidos a partir de los datos de microsonda electrónica representan los sistemas Au-Ag-Cu y Au-Ag-Hg. La mayoría de los granos analizados se ubican en el eje Au-Ag con composiciones próximas al electrum y oro nativo. Los contenidos de oro oscilan entre 69.07 y 78.64 % en peso mientras que la plata oscilan entre 20.23 y 31.18 % en peso. Tres granos analizados puntualmente en diferentes partes arrojaron valores de oro entre 98.31 y 98.46 % en peso, mientras que la plata osciló entre 1.40 y 2.34 % en peso. El mercurio alcanza valores de hasta 0.34 % en peso y se empobrece en las zonas de mayor concentración de oro, llegando a alcanzar valores de hasta el 0.15 % en peso.

Los granos de oro de Cayo Guam se enriquece notablemente en cobre, alcanza valores por encima del 28 % en peso, equivalente a un 55 % atómicos.



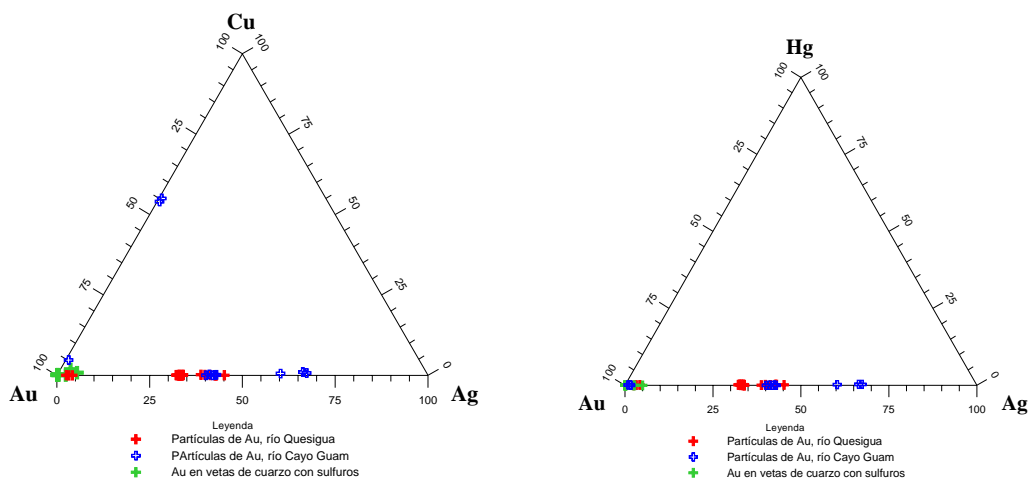


Figura 4. Diagramas ternarios que reflejan la composición química (% Atómico) de los granos de oro identificados en los sedimentos fluviales de los ríos Quesigua y Cayo Guam.

### Partículas de oro en los placeres de playa

Las partículas de oro presentan formas irregulares, a veces vagamente redondeados con bordes cóncavos y convexos; la superficie aunque rugosa en algunos casos generalmente se presenta pulida y con color amarillo latón. En las aristas de los granos se observan cambios de tonalidades que van desde un amarillo pálido hasta verde amarillento, lo que supone cambios composicionales; el oro se presenta de forma libre.

Los diagramas ternarios Au-Ag-Cu y Au-Ag-Hg (Fig.5) muestran una composición química muy heterogéneas y variadas. Estas partículas están compuestas mayoritariamente por aleaciones intermetálicas correspondientes a electrum, con contenidos de Ag que oscilan entre 37 - 63 % en peso, y de oro nativo con contenidos de hasta 97 % en peso. En el placer Mejías se observan contenidos anómalos de mercurio, con valores de hasta 20 % de este metal; estos agregados auríferos microscópicos enriquecidos con Hg, son conocidos internacionalmente con el término de amalgama. De acuerdo con las normas de la Asociación Internacional de Mineralogía (IMA) este compuesto podría ser designado con el nombre de oro mercurial.

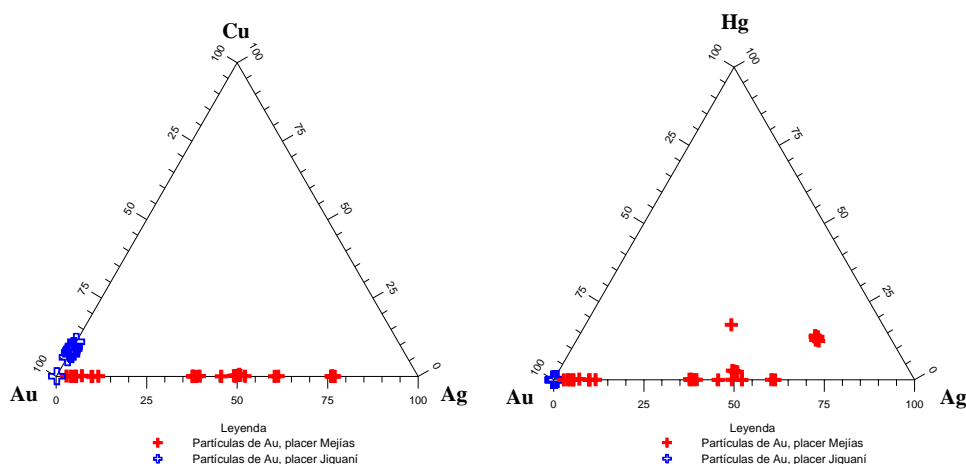


Figura 5. Composición de granos de oro de los sedimentos de la playa Mejías y Jiguani

La concentración de oro en las arenas de los placeres de playa alcanzan valores entre 0.15 y 0.6 g/t pudiendo extraerse aproximadamente 0.7 toneladas.

### **Partículas de MEGP y distribución de los EGP en los placeres asociados a la faja ofiolítica mayari-baracoa.**

Los estudios realizados hasta el presente en la zona demuestran la presencia de minerales de elementos del grupo del platino en el placer de Mejías y las arenas negras de los placeres aluviales del río Quesigua.

Las partículas de EGP en el placer Mejías presentan una estructura interna muy compleja. Los minerales presentes son de diversas composiciones dentro de la serie laurita-erlichmanita, e iridoarsenita. El pequeño tamaño de los intercrecimientos entre los granos de diferentes minerales no ha permitido ha podido obtener análisis cuantitativo mediante microsonda electrónica en todas las fases; no obstante los términos ricos en componente laurita son los únicos minerales de EGP del placer Mejías analizados mediante esta técnica. La fórmula estructural promedio obtenida es  $(\text{Ru}_{0.51}\text{Os}_{0.39}\text{Ir}_{0.05}\text{Pt}_{0.02}\text{Fe}_{0.01})_{0.98}(\text{S}_{1.96}\text{As}_{0.04})_2$ . Una primera generación de laurita (laurita I, rica en el componente erlichmanita), presentando estas composiciones, es de formación precoz (Díaz-Martínez, R., et al, 1998). Además, existe laurita de composición muy pura (laurita II), muy cercana a la del término extremo  $\text{RuS}_2$  de la serie laurita-erlichmanita, que se encuentra en forma de finas vetas, paralelas entre sí, que cortan a la anterior, muy probablemente a partir de superficies de exfoliación.

Entre las vetas de laurita I y la laurita II se reconoce una zona de reemplazamiento de la laurita I por una mezcla consistente en intercrecimiento simplécticos de grano muy fino de una nueva generación de laurita (laurita III, de composición intermedia entre las otras dos) y de iridoarsenita. Esta iridoarsenita es de composición muy pura, y se encuentra en forma de cristales cúbicos idiomórficos de hasta 4 micras de aristas, pero que generalmente son de tamaño muy inferior.

En la mina de cromita Monte Bueno, ubicada en la cercanía de la playa Mejías se han revelado minerales de la serie laurita-erlichmanita con texturas cataclásticas (Proenza, J., comunicación personal) muy similares a la reportada en Mejías por Díaz-Martínez, R., et. al. (1998). Estas texturas se producen durante la serpentización, en condiciones de muy bajas fugacidades de azufre y de oxígeno (Proenza, 1998) y han sido observadas en las cromititas serpentizadas del complejo de Vourinos en Grecia (Garuti y Zaccarini, 1997), o en los placeres aluviales derivados de la erosión de complejos ofiolíticos, como los de Kalimantan en Borneo (Burgath, 1998), en los de Nueva Caledonia (Augé y Maurizot, 1995), o en los de Hokkaido en Japón y de Samar en Filipinas (Nakagawa y Franco, 1997).

Las arenas de los placeres fueron analizadas mediante ICP-MS en Australia (tabla I). Estos resultados indican que en los concentrados pesados de los aluviones de Quesigua y Cayo Guam se concentran minerales de EGP, principalmente en las fracciones magnéticas, con contenidos extremadamente anómalos de Pd (70 - 217 ppb) y de Pt (71 y 127 ppb).

Tabla I. EGP+Au en los placeres aluviales y de playa de región Sagua-Moa.

Tipo de material	No. muestra	Tipo Fracción	Concentraciones de EGP y Au (ppb)							
			Au	Ir	Os	Pd	Pt	Rh	Ru	ΣEGP

Arenas de playa Mejías	Cu-106	Arenas sin beneficio	93	4	X	6	5	3	13	31
Arenas de playa Mejías	Cu-107	Arenas sin beneficio	38	3	X	3	2	X	5	13
Arenas de playa Mejías	Cu-108	Arenas sin beneficio	32	2	2	3	X	1	5	13
Arenas de playa Mejías	Cu-109	Arenas sin beneficio	X	3	X	X	3	1	6	13
Arenas de playa Mejías	Cu-100	No magnética	867	X	X	X	3	X	X	3
Aluviones de Cayo Guam	Cu-103	Magnética	12	16	11	70	71	8	31	207
Aluviones de Cayo Guam	Cu-101	No magnética	X	X	X	3	X	X	X	3
Aluviones del Río Quesigua	Cu-102	Magnética	13	10	6	217	127	7	18	385

## DISCUSIÓN

Las variaciones composicionales complejas de los granos de oro del río Quesigua y su textura porosa vista a través de las imágenes de electrones retrodispersados y mapas de rayos X indican procesos de corrosión en que la plata y el mercurio a nivel de borde de grano son lixiviados en proporciones diferentes.

Estos procesos debieron ocurrir “in situ” antes de que las partículas de oro llegaran a las zonas de acumulación aluvial y son el resultado de la oxidación de las vetas de cuarzo con sulfuro donde el oro y el electrum se encuentran libres. Los mayores valores de oro ocurren en los bordes de grano, con fineza de hasta 805 disminuyendo hasta 707 hacia las zonas internas o núcleos de los granos.

Partiendo de lo antes expuesto cabe pensar que inicialmente la partícula debió ser un electrum, pues la composición química de los núcleos de los granos se conservan durante la acción de los agentes químicos del intemperismo, sobretudo los ácidos fúlvicos propios de terrenos tropicales. A esto se debe añadir los modestos contenidos de mercurio (hasta 0.34 % en peso) en las partes centrales, los que disminuyen hacia la periferia del grano.

El oro de los aluviones del río Cayo Guam a pesar de tener composiciones parecidas a las de Quesigua se diferencian notablemente por un mayor contenido de cobre. Los fenómenos de alteración hidrotermal parecen ser los causantes de tales variaciones composicionales. A nivel de subgrano se observaron aleaciones de Au-Cu. Estas aleaciones pudieran corresponderse con una fase mineral con composición próxima al tatraauricúprido estequiométrico ( $\text{Cu}_{0.54}\text{Au}_{0.45}$ )<sub>0.99</sub>.

Proenza et al. (1998) señala, en el caso del yacimiento Merceditas que las asociaciones minerales primarias están reemplazadas normalmente por diversas asociaciones de fases secundarias correspondientes a dos etapas de alteración; una primera etapa de serpentización en la que se forman serpentinas, magnetita, diversas aleaciones de Fe y Ni, elementos nativos (Ni, Au, Cu) y sulfuros de Ni y de Fe-Ni sucedida por una etapa de ferricromitización-cloritización en la que se produce el reemplazamiento parcial de la cromita por ferricromita y el reemplazamiento de los minerales del grupo de la serpentina por clorita.

En varios granos de oro se observa la presencia de clorita cocrystalizando con el oro (Figura 3.20B) lo que sugiere que la formación de granos de oro nativo entre la ganga silicatada no es un proceso primario sino que estuvo ligado al procesos de serpentinización-cloritización de las ultrabasitas.

La alteración supergénica que actúa intensamente sobre los granos de oro ya formados produce la lixiviación del cobre y la plata dando texturas porosas y esqueléticas sobre todo en los bordes de los granos

Los resultados alcanzados no permiten proponer esta área como perspectiva para la realización de campañas de prospección que orienten la búsqueda de mineralización primaria de oro de interés económico.

La especialización geoquímica de las partículas auríferas reveladas en los sedimentos de la playa Mejías, parece estar asociada genéticamente con la presencia de filones y brechas hidrotermales enriquecidos en oro, encajados en las rocas perteneciente al complejo Cerrajón, ampliamente difundidas en las cuencas de los ríos Castro, Cerrajón y La Novilla.

Estudios realizados por Ramayo (2003) en las manifestaciones hidrotermales con oro El Rifle-Los Calderos y Hato Viejo indican un patrón composicional muy similar al determinado en los granos de oro de playa Mejías por lo que dichas manifestaciones podrían constituir una de las posibles fuentes primarias del oro.

Esta implicación metalogenética está avalada en gran medida por los innumerables trabajos realizados en la cuenca del río Santa Catalina, durante la década de los años 90 (Rodríguez-Vega, A., 1995), donde fueron revelados, en los concentrados pesados concentraciones anómalas de talio, plomo, estaño, plata, galio, cobre y zinc que representan importantes indicadores geoquímicos la existencia de posibles mineralizaciones epitermales.

En relación a la posibilidad de una fuente en los complejos ofiolíticos, cabe recordar que Proenza (1998) encuentra granos de oro libre en las cromititas de la faja Mayarí-Baracoa. Estos granos tienen tamaños muy pequeños (entre 5 y 10 micras) y muestran una amplia variación composicional en cuanto a la relación Au/Ag, de forma análoga a lo que acontece en playa Mejías.

Por otra parte, hay que considerar que se pueden formar mineralizaciones de Au en relación con procesos de carbonatización de las rocas ultramáficas ofiolíticas (listvenitización). Mineralizaciones de este tipo se han descrito en otros sectores del complejo ofiolítico cubano (Cabrera et al., 1986), aunque hasta ahora no se han descrito en la parte Oriental de Cuba. No obstante, la presencia de ankerita y epidota (minerales típicos de rocas listveníticas) en las muestras analizadas (Tabla 3.2), es un indicador indirecto de que una fuente listvenítica del oro no puede ser, en principio, desechada.

Por último, se han descrito zonas de alteración hidrotermal en rocas volcánicas del arco Cretácico, que son también drenadas por la red fluvial de la cuenca del río Sagua (Rodríguez-Vega, 1995), en los que se desconoce, por el momento, el potencial en oro.

El problema más complejo para determinar la fuente de los granos de minerales de oro es, no obstante, la diferente composición química interna de los granos, que podría indicar una diferente procedencia o diferentes mecanismos de alteración. En efecto, las texturas observadas en los granos de electrum indican un proceso multiepisódico de formación de las pepitas. En primer lugar, las pepitas no pueden haberse formado por un proceso simple de

acreción química, como sugieren algunos autores (por ejemplo, Clough y Craw, 1989, Mann, 1984) o por coloides (Seeley y Senden, 1994), debido a la existencia de subgranos de diferente composición química y, además, con alteraciones diferentes. Por tanto, en la generación de texturas como las observadas en la Figura 3.26 deben tenerse en cuenta los siguientes episodios: a) etapa de lixiviación de oro sobre los minerales primarios; b) coalescencia de partículas; c) enriquecimiento supergénico de oro en las pepitas.

La lixiviación de oro en perfiles de alteración es un hecho comúnmente observado y abundantemente descrito, pese a que antiguamente se pensaba que el oro, por su baja movilidad, quedaba fijado en los perfiles de alteración.

Colin et al. (1993) discuten los mecanismos por los que el oro puede ser puesto en solución. Así, en depósitos ricos en sulfuros y carbonatos, capaces de generar durante su meteorización un medio ácido y alcalino, el Au puede transportarse en forma de complejos como tiosulfatos ( $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ ), o como complejos bisulfuro ( $(\text{Au}(\text{HS})_2)^-$ ) si el medio es más ácido. En el caso que nos ocupa, en el área fuente no parecen darse las condiciones para la formación de estos complejos, pues en ninguno de los posibles depósitos primarios se dan concentraciones significativas de sulfuros.

En estos casos, otro mecanismo propuesto para la lixiviación y transporte de oro es en forma de complejos clorurados ( $\text{AuCl}_4^-$ ), los cuales requieren, no obstante, ambiente muy ácido, altamente oxidante y medio extremadamente rico en Cl. En las lateritas tampoco se dan estas condiciones, y Colin et al. (1993) proponen el transporte de Au como ligandos inorgánicos u orgánicos:  $\text{Au}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})^0$ ,  $\text{AuClOH}^-$  o  $\text{Au}(\text{OH})_2\text{FA}^-$  (éste último, por acción de ácido fúlvico presente en los suelos tropicales).

Estos autores, además, concluyen que este proceso no ofrece enriquecimiento supergénico en oro sino todo lo contrario, y muestran que en estas condiciones se produce un lavado selectivo del oro en la estructura del electrum. Esta circunstancia explica las diferencias composicionales en el electrum del centro de los subgranos.

Por otro lado los granos de amalgama introducen una cierta problemática, pues se conocen pocas referencias sobre la presencia de este mineral. La amalgama se ha descrito en diversos depósitos volcanogénicos, como los de Langsele en Suecia (Nysten, 1986), los de Trout Creek en Canadá (Heal y Petruk, 1990) y los de La Zarza, en la Faja Pirítica Ibérica (Ruiz y Samper, 1995). No obstante, también ha sido citada en depósitos asociados a rocas ultrabásicas en China (Keqiao et al., 1981) y, más recientemente, en placeres producidos por erosión de rocas ofiolíticas, en asociación con platinoides (Krsti\_ y Tarkian, 1997). Es común, por otra parte, en los depósitos de placeres fósiles de Witwatersrand (Oberthür y Saager, 1986).

Se conocen pocos datos sobre la estabilidad de este mineral. Groen et al. (1989) señalan que la precipitación de gruesas capas de amalgama sobre oro se ve favorecida por temperaturas más altas. El oro mercurial revelado en playa Mejías aparenta ser primario, pues es homogéneo internamente (Figura 3.26D). La alteración de los bordes parece estar relacionada con diferente movilidad de Au, Ag y Hg en agua marina: el oro más puro parece ser mucho más estable que la plata y ésta, que el mercurio. El resultado es la formación de texturas de oro y plata esponjiformes en los bordes corroídos de los granos. Texturas muy similares han sido producidas por ataque químico ácido sobre amalgamas (Watterson, 1994).

En conclusión las principales áreas fuentes del oro de los sedimentos friables de la playa Mejías se ubican a grandes distancias y preferentemente en los alrededores de las cuencas de los ríos

Castro, Cerrajón y La Novilla (Anexo 3.6), donde afloran las rocas del complejo Cerrajón que hospedan pequeñas y medianas vetas de cuarzo y brechas epitermales con sulfuro de Fe, Cu, Zn y oro. La presencia de granos de oro nativo, electrum y amalgamas son indicadores de mineralizaciones de bajas temperaturas de tipo epitermal. Evidencias de tales estilos de mineralización han sido confirmadas en la zona El Rifle-Los Calderos y Hato Viejo (Ramayo, 2003).

El oro de las arenas de Jiguaní es muy similar al existente en los sedimentos del río Cayo Guam e independientemente de los efectos sufridos por el intemperismo aún conserva los rasgos composicionales primarios próximos al tetraauricúprido, por lo que se sugiere una naturaleza hidrotermal vinculado con los procesos de serpentinización de las ultrabasitas. Por tanto si se decide en un futuro realizar trabajos de prospección para la búsqueda de mineralización aurífera los mismos deben dirigirse dentro de los límites de las cortezas de intemperismo que se desarrollan en las ultrabasitas ubicadas distantes de la costa.

Los granos de oro del perfil laterítico de Cabañas presentan texturas esponjosas, globulares y muy rugosas con muchos poros y huecos de disolución, indica que el oro no sufrió transporte mecánico, debiendo originarse "in situ" y que las texturas primarias han sido modificadas como resultado de procesos de lixiviación, transporte y reconcentración "in situ" del oro primario. Las reacciones que participan provocan un incremento notable en el tamaño de los granos y su fineza. En el grano #1 la fineza del oro se eleva hasta 993 lo que significa un lavado selectivo de la plata y oro y una redeposición tardía del oro. Estos mecanismos se producen en regiones con clima tropical sometidos a una intensa meteorización de las vetas con sulfuros y oro.

Por otro lado se presenta el grano #2 con formas cristalinas, tabulares, bordes rectos y muy poco corroído. Este grano de oro no ha sido sometido a intensos procesos de lixiviación y removilización de los metales por lo que su composición primaria conserva los rasgos del oro primario. Por todo lo expuesto anteriormente se concluye que en las saprolitas del perfil de intemperismo del sector Cabañas existen dos generaciones de oro, una primaria con la formación de electrum y tetraauricúprido y otra con la formación de oro nativo de muy alta ley.

Los granos de oro del sector Cabañas tienen un origen hidrotermal vinculados genéticamente a procesos de serpentinización de las ultrabasitas y asociados espacialmente a zonas de intensa cuarcificación.

Según Lavaut (1998) la máxima concentración del oro en las menas y litotipos de la corteza de intemperismo de ultramafitas de Cuba oriental se produce en el horizonte de los ocrees estructurales iniciales con valores de 150 mg/t. En este horizonte el contenido de oro alcanzó los 2000 mg/t, por lo que debe tenerse muy en cuenta estos resultados dado los elevados precios de este metal en el mercado mundial.

La prospección futura de oro en las cortezas de intemperismo debe realizarse en aquellos sectores de desarrollo de alteraciones hidrotermales prestando especial atención a los horizontes de los ocrees estructurales o saprolitas.

## CONCLUSIONES

La morfología, textura y composición química de los granos de oro de los sedimentos aluviales del río Quesigua sugieren un origen primario asociado a mineralizaciones de génesis hidrotermal en forma de vetas de cuarzo con sulfuros y oro nativo y electrum con contenidos





discretos de mercurio. Los bajos contenidos de mercurio, ausencia de trazas de Sb y As en los granos de oro detrítico descartan un posible origen epitermal de las vetas de cuarzo con oro.

Los granos de oro de los sedimentos de playa Mejías responden a composiciones muy similares a la del oro nativo, electrum y oro mercurial. Los rasgos morfo-texturales y composicionales del oro, así como las paragénesis minerales presentes en los sedimentos de esta playa no permiten definir con exactitud el área fuente de los minerales de oro aunque la presencia de amalgamas naturales de oro y mercurio sugieren que una de las posibles fuentes de oro y la más importante en la región Sagua-Moa son las vetas epitermales que se ubican en la zona El Rifle-Los Calderos y Hato Viejo, todas ellas ubicadas dentro del complejo Cerrajón. No se descarta además las rocas ultrabásicas afectadas por procesos de listvenitización como posible área fuente de los granos de oro.

La presencia de granos de oro con texturas esponjosas en las saprolitas del perfil laterítico del sector Cabañas sugiere un origen secundario del oro y una relación espacial muy estrecha con las zonas de alteración hidrotermal. La existencia de aleaciones de Au-Cu del tipo tetrauricúprido permiten suponer que los procesos de serpentinización a que han sido sometidas las ultrabásitas son los responsables de generar estas mineralizaciones de oro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albear, J.; I. Boyanov; K. Brezsnianszky; R. Cabrera; V. Chejovich; B. Echevarría; R. Flores; F. Formell; G. Franco; I. Haydutov; M. Iturralde-Vinent; I. Kantchev; I. Kartashov; V. Kostadinov; G. Millán; R. Myczynski; E. Nagy; J. Oro; L. Peñalver; K. Piotrowska; A. Pszczolkowski; J. Radocz; Rudnicki; M.L. Somin. 1988. Mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000.
- Andó, J.; M. Kozák; Y. Ríos. 1989. Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín-Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. *Minería y Geología*, V (1), p: 15-33.
- Augé, T., Maurizot, P. 1995. Stratiform alluvial platinum mineralization in the New Caledonia ophiolite complex. *Can. Mineral.*, 33, p: 1023-1045.
- Burgath, K. 1998. Platinum group minerals in ophiolitic chromitites and aluvial placer deposits: Meratus-Bobaris area, southeastern Kalimantan. In H.M. Prichard, P.J. Potts, J.F.W. Bowles, S.J. Cribbs (eds). *Geoplatinum* =87, Amsterdam, Elsevier, 283-403
- Cabrera, R., Kramer, J.L., Dobrovolskaya, M., Catá, A. 1986. La formación menífera aurolistvenítica del yacimiento Descanso en Villa Clara (Cuba). *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 11, p: 59-66.
- Clough, D.M., Craw, D. 1989. Authigenic gold-marcasite association: evidence for nugget growth by chemical accretion in fluvial gravels, Southland, New Zealand. *Econ. Geol.*, 84, p: 953-958.
- Crespo, E. (1996) Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMM.
- Cobiella, J.L. 1978. Estratigrafía y paleogeografía del Paleógeno de Cuba oriental. Tesis Doctoral. ISMMM, p:210.
- Colin, F., Vieillard, P., Ambrosi, J.P. 1993. Quantitative approach to physical and chemical gold mobility in equatorial rainforest lateritic environment. *Earth Planet. Sci. Letters*, 114, p: 269-285.
- Desborough G. A., Silver depletion indicated by microanalysis of gold from placer occurrences Western United States. *Economy Geology*, 65, p. 304-311, 1970.
- Díaz, R., Proenza, J., Melgarejo, J., C. 1998. El placer lateral de playa Mejías (noreste de Cuba Oriental): un ejemplo de interacción de procesos aluviales y marinos en la concentración de minerales de elementos preciosos. *Acta Geológica Hispánica*, No (1), V(4), p:351-37.
- Fonseca, E.; V..N. Zelepugin y M. Heredia. 1985. Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*, 19, p:321-329.
- García, I. y E. Fonseca. 1994. La mineralización cromítica y su relación con las cloritas en el yacimiento Amores. *Minería y Geología*, 11, p: 50-54.
- García, M., Carralero, N., Proenza, J., Blanco, J. 1996. Condiciones paleotectónicas y de sedimentación de las formaciones Sabaneta y Vigía según el modelo de una cuenca de retroarco. *Revista Minería y Geología*, 11, p: 13-17.

- Garuti, G., Zacarini, F. 1997. In situ alteration of platinum-group minerals at low temperatura: evidence from serpentinized and weathe chromitite of the Vourinos complex, Greece . Can. Mineral., 35, p: 611-626.
- Groen, J.C., Craig, J.R., Rimstidt, D. 1989. Growth rates and mechanisms of amalgam rims on electrum grains. Abstr. & Progr. Geol. Soc. Amer., 21, p: 62-93.
- Gyarmati, P. Y J. leyé O'Conor. 1990. Informe final sobre los trabajos de levantamiento geológico en escala 1:50 000 y búsqueda acompañante en el polígono CAME V, Guantánamo. O.N.R.M.
- Gyarmati, P. El Vulcanismo Cretácico Entre Guantánamo - Sagua de Tánamo -Baracoa. Actas del GEOMIN (CD), 2001.
- Heal, R.E., Petruk, W. 1990. Petrology of Au-Ag-Hg alloys and "invisible" gold in the Trout Lake massive sulphide deposit, Flin Flon, Manitoba. Can. Mineral, 28, p. 189-206.
- Iturralde-Vinent, M.A. 1976. Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba. Oriente. La Minería en Cuba, 5, p:9-23.
- Iturralde-Vinent, M.A. Geología de las ofiolitas. En Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IUGS/UNESCO. International Geological Correlation Program. Proyect 364. Ciudad de la Habana. pp. 83-120, 1994.
- Iturralde-Vinent, M.A. Introduction to Cuban Geology and Tectonics. En: Iturralde-Vinent, M. (ed.). Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP project 364. Special contribution n.1, 3-35, 1996.
- Krsti, S., Tarkian, M. 1997. Platinum-group minerals in gold-bearing placers associated with the Velu\_e ophiolite complex, Yugoslavia. Can. Mineral, 35, p.1-21.
- Lavaut, W. 1998. Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba oriental. Revista Minería y Geología, 15: p 9-16.
- Lavaut, W. 2003 La meteorización de la ofiolita de Cuba Oriental. Modelos geológicos y terminología cubana. CD MEMORIAS del V CONGRESO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. GEOMIN 2003, ISBN 959-7117-11-8 TGMNI- 15, La Habana.
- Leake, R. C., Chapman, R. J., Bland, D. J., Stone, P., CAMERON, D. G. & STYLES, M. T., The origin of alluvial gold in the Leadhills area of Scotland; evidence from internal chemical characteristics. Journal of Geochemical Exploration, 63, p.7-36, 1998
- Liuby, L.I. Informe sobre los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo realizado en el territorio de las provincias de Holguín y Guantánamo. O.N.R.M., 1983.
- Loen, J.S. Use of placer gold characteristics to locate bedrock gold mineralization. Exploration and Mining Geology, 4, p. 335-339, 1995.
- Loen, J.S.. Origin of placer gold nuggets and history of formation of glacial gold placers, Gold Creek, Granite County, Montana. Econ. Geol., 89, p. 91-104, 1989.
- Mann, A.W. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: some observations from Western Australia. Econ. Geol., 79, p. 38-49, 1984.
- MORALES, A.R. Y RODRÍGUEZ, R. 1987. Caracterización de la fracción pesada en la región Moa-Baracoa y su vinculación con la mineralización endógena. Trabajo presentado en el I Congreso de Geología y Minería. Octubre.
- Nagy, E.; K. Brezsnianszky; A. Brito; D.P. Coutin; F. Formell; G.L. Franco; P. Gyarmati; P. Jakus; G.Y. Radocz. 1976. Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba.
- Nakagawa, M., Franco, H.E.A. 1997. Placer Os-Ir-Ru alloys and sulfides: indicators of low sulfur fugacity in an ophiolite?. Can. Mineral., 35, p. 1441-1452.
- Nysten, P. 1986. Gold in the volcanogenic mercury-rich sulphide deposit Långsele, Skellefte ore district, northern Sweden. Mineral. Deposita, 21,2, p. 116-120.
- Oberthür, TH., Saager, R. 1986. Silver and mercury in gold particles from the Proterozoic Witwatersrand placer deposits of South Africa: metallogenic and geochemical implications. Econ. Geol., 81, p. 20-31.
- Proenza, J. Carralero, N. M. 1994. Un nuevo enfoque sobre la geología de la parte sur de la cuenca de Sagua de Tánamo. Minería y Geología, 11, 3-10.
- Proenza, J. 1997. Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba): Ejemplo del yacimiento Mercedita. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, p:227.
- Proenza, J.; F. Gervilla; J.C. Melgarejo; D. Revé; G. Rodríguez. 1998. Las cromititas ofiolíticas del yacimiento Mercedita (Cuba). Un ejemplo de cromitas ricas en Al en la zona de transición manto-corteza. Acta Geológica Hispánica, 33(1-4), p:179-212.



- Proenza, J., Gervilla, F., Melgarejo, J.C. Y Bodinier, J.L. 1999a. Al- and Cr- rich chromitites from the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt (eastern Cuba): consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotite in suprasubduction mantle. *Economic Geology* 94, 547-566.
- Proenza, J., Gervilla, F. Y Melgarejo, J.C. 1999b. La *Moho Transition Zone* en el Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa: un ejemplo de interacción magma/peridotita. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 12(3-4), 309-327.
- Proenza, J.; J.C. Melgarejo; F. Gervilla. 2000. La faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba oriental): una litosfera oceánica modificada en una zona de suprasubducción cretácica. En: Tercera Conferencia Internacional sobre Geología de Cuba, el Golfo de México y el Caribe Noroccidental.
- Proenza, J., Gervilla, F., Díaz-Martínez, R., Rodríguez-Vega, A., Lavaut, W., Ruiz-Sánchez, R., Batista, J.A., Blanco-Moreno, J., Melgarejo, J.C., Garrido, C.J., Marchesi, C. 2003. La Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba Oriental): Un nuevo reconocimiento petrológico y estructural. *V Congreso Cubano de Geología y Minería*, La Habana, Cuba. Libro de Resúmenes, p. 143-145.
- Quintas, F. 1989. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, p:161.
- Quintas, F.; J. Proenza y J.L. Castillo. 1995. Análisis tectono-sedimentario de la paleocuenca Sabaneta. *Minería y Geología*, 12: 3-8.
- Quintas, F. 1996. Bioestratigrafía del corte Meso-Cenozoico del extremo oriental de Cuba. *Minería y Geología*, 13(1), p:3-8.
- Ramayo-Cortés, L. 2003. Geoquímica y mineralogía de la mineralización epitermal de la región nororiental de la provincia Holguín. En los ejemplos de las manifestaciones minerales Hato Viejo y El Rifle-Los Calderos", Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMMM, p:127.
- Rodríguez, A. 1995. Contenidos anómalos de elementos raros y metales nobles en los concentrados pesados de la región noreste de la provincia de Holguín. *Revista Minería y Geología*. No. 1, pp 19-25.
- Rodríguez, A. 1998. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Tesis Doctoral. Centro de Información. ISMM, 124 p, 1998.
- Ruiz, C., Samper, J. 1995. Presencia de la amalgama Au-Ag-Hg en el Cinturón Pirítico Ibérico, mina de La Zarza (Huelva). *Geogaceta*, 18, p. 184-186.
- Seeley, J.B., Senden, T.J. 1994. Alluvial gold in Kalimantan, Indonesia; a colloidal origin?. *Jour. Geochem. Explor.*, 50, p. 457-478.
- Torres, M. 1987. Característica de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa-Baracoa y su relación con el arco volcánico Cretácico. Trabajo de Diploma. Centro de Información. ISMMM.
- WATTERSON, J.R. 1994. Artifacts resembling budding bacteria produced in placer-gold amalgams by nitric acid leaching. *Geology*, 22, p: 1144-1146.
- WILSON, A. 1984. Origin of quartz free gold nuggets and supergene gold found in laterites and soils: a review of some new observation. *Aust. J. Earth Sci.*, No.31. p: 303-316.



## PRONOSTICO METALOGÉNICO EN LAS ALTURAS DE PIZARRAS DEL SUR DE CUBA OCCIDENTAL BASADO EN NUEVOS ÍNDICES DE CONTROL DE LA MINERALIZACIÓN.

**René Fernández de Lara<sup>(1)</sup>, Eliecer Sobrino<sup>(1)</sup>, Elmidio Estevez<sup>(2)</sup>, Sandra Fajardo<sup>(1)</sup>, Roberto Denis<sup>(1)</sup>, Orestes Díaz<sup>(2)</sup>.**

(1) Empresa Geominera de Pinar del Río

(2) Universidad de Pinar del Río

### RESUMEN

La falta de ocurrencias minerales superficiales en las Alturas de Pizarras del Sur nos obliga a la realización de un Pronóstico Regional que permita la delimitación de áreas para la aplicación de métodos de detalles para prospectar yacimientos CIEGOS. El procesamiento se llevó a cabo mediante un modelo de diagnóstico complejo que aunque incluyó métodos heurísticos, tiene una gran componente de métodos deductivos basados en los principios de la Inteligencia Artificial. La escasez de índices regionales clásicos nos obligó a utilizar otros indicadores que hasta el momento no habían sido tomados en cuenta, resultando estos de gran efectividad. Durante la investigación se comprobó el control de la tectónica regional transversal sobre los depósitos del territorio. Para esto se determinaron las zonas de alta favorabilidad sobre la base de un modelo conceptual que no incluía este criterio; finalmente estas zonas son comparadas con dichas estructuras comprobando su coincidencia espacial. Los resultados alcanzados permiten usar este criterio con alta certidumbre para futuros pronósticos a mayores escalas. También fue comprobada la utilidad de la gravimetría regional para el mapeo de zonas de alteración resultando un índice indirecto de alta eficiencia. También con el nuevo conocimiento adquirido se propone una sub-zonación para el territorio que lo divide por diferentes características metalogénicas, la que puede extrapolarse a otras zonas metalogénicas comprendidas en un ambiente geotectónico similar. El pronóstico se realizó sobre un área de aproximadamente 900 km<sup>2</sup>, logrando discriminar el área en más de un 85%, seleccionando y ordenando los sectores de mayor perspectiva donde se deben realizar los trabajos de continuación.

### ABSTRACT

The lack of superficial mineral showings in the Alturas de Pizarras del Sur forced us to carry out a Regional Prognostic that allowed for the delimitation of favorable areas for further application of prospecting works oriented to look for BLIND mineral deposits. The process of prognostic was carried out by means of a complex diagnosis model that included heuristic and deductive methods, the second ones based on the principles of the Artificial Intelligence. The shortage of classic regional indexes forced us to use other indicators that had not been taken into account until the moment. The results were very effective. During the investigation process the regional tectonic control on the mineral deposit in the territory was proven. To accomplish such a task, the areas of high favorability were determined on the base of a conceptual model that not included the tectonic control. Finally, these areas are compared with tectonic structures checking their space coincidence. The reached results allow to use this index with high certainty for future regional prospecting. The utility of regional gravity survey was also proven as to determinate alteration zones, being an indirect index of high efficiency. With the new acquired knowledge a metallogenic zonation for the territory has been proposed which can be extrapolated to other areas with similar metallotectonic features. The prognostic was carried out on an area of approximately 900 km<sup>2</sup>, being able to discriminate the area in more than 80%. The sectors of more favorabilidad were selected and orderly for further follow up works.



## INTRODUCCIÓN

Las rocas de las Alturas de Pizarras del Sur en Pinar del Río presentan por sus condiciones una alta favorabilidad como hospederas de la mineralización sulfurosa, sin embargo su potencial metalogénico se consideró mas bajo que su similar del norte debido a la poca ocurrencia de depósitos conocidos en superficie. La diferencia en magnitud y estilos de los eventos tectónicos que ocurrieron en ambos macizos debe ser la responsable de este cuadro actual que provoca que la mayoría de los depósitos metálicos en este territorio sean CIEGOS.

Para prospectar en estas condiciones de depósitos ciegos se necesita ante todo discriminar el área de los trabajos seleccionando las áreas de alta perspectiva, basándonos en un modelo regionales de la mineralización..

En el presente trabajo se realiza un pronóstico regional para mineralización metálica determinándose las estructuras favorables donde se deben realizar los trabajos de prospección. la investigación se realizo sobre un área de aproximadamente 900 km<sup>2</sup>, logrando discriminar el área aproximadamente 80%.

La información regional existente con excepción de la investigaciones geoquímicas no se relacionan directamente con la mineralización sulfurosa, por lo que se necesita proponer un modelo geológico conceptual de las estructuras controladoras basado en índices que puedan ser descritos de forma indirecta con dicha información.

Para este modelo partimos del mecanismo de formación aceptada para los depósitos tipo SEDEX, considerando la mayor cantidad de características de estas zonas. Posteriormente son seleccionadas aquellas características que puedan ser captadas de alguna manera aunque de forma indirecta por la información que poseemos, y se diseñan las transformaciones que mejor establezcan la relación **información-índice**.

Luego de tener de tener determinados los índices a utilizar estos tributan al grado de favorabilidad tomando en cuenta el grado de importancia en la determinación de la posición actual de los depósitos según el modelo conceptual establecido. También se toma en cuenta el grado de certidumbre con que fue determinado el índice en base a la calidad de la relación información-índice y el grado de ambigüedad de la respuesta obtenida.

Fueron determinados nuevos índices regionales que por una parte tienen una alta influencia como indicadores en la determinación de zonas favorables para la ocurrencia de mineralización y que por otra parte pueden ser mapeados con la información existente con un elevado grado de certidumbre.

En algunos de stos índices como en el caso del control tectónico, que hasta el momento ha sido discutible, no se introduce inicialmente en el proceso de pronóstico, si no que se compara con el resultado parcial de otros índices para probar su veracidad.

Todo el procesamiento fue realizado sobre una plataforma SIG, usando principalmente el Sistema *IDRISI*.





## MATERIALES Y METODOS

### CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN.

El área de los trabajos se ubica en la porción centro occidental de la provincia de Pinar del Río, abarcando la estructura denominada Manto de Sobrecorrimiento Alturas de Pizarras del Sur y las unidades metamórficas Cerro de Cabras, Mestanza y Pino Solo, todas pertenecientes a la Subzona Sierra de los Órganos de la Zona Estructuro - Facial Guaniguanico,.

Desde el punto de vista litológico predominan los depósitos principalmente terrígenos de las formaciones San Cayetano y Arroyo Cangre, De modo muy local afloran, en algunas ventanas tectónicas, las secuencias calcáreas correspondientes a las formaciones Jagua y Guasasa, así como la secuencia olistostrómica de la Formación Manacas.

De acuerdo a los objetivos del presente trabajo sólo las dos primeras de las unidades mencionadas revisten algún interés por su posible relación con distintos tipos de mineralización de metales básicos y preciosos:

El panorama tectónico se rige fundamentalmente por estructuras disyuntivas en dos direcciones principales. El primero, sistema longitudinal, con dirección submeridional, representado fundamentalmente por planos de sobrecorrimientos y otras estructuras generadas como consecuencia de los grandes movimientos horizontales culminados en el Eoceno Inferior.

El segundo sistema con dirección transversal al primero, está integrado por fallas de distintas edades, algunas con muy larga vida desde el Jurásico. Su espaciamiento es regular, e interviene tanto en los desplazamientos verticales como horizontales. Su mapeo se hace difícil por los métodos de mapeo geológico convencionales, por estar enmascaradas por las escamas sobrecorridas por lo que para su detección son usados los métodos geofísicos y geoquímicos regionales, así como las fotos aéreas y las imágenes cósmicas.

En trabajos anteriores [Fernández de Lara et.al.2002] en la porción suroeste del territorio fue estudiado y probado el carácter distensivo de alguno de sus elementos, así también se explica [Fernández de Lara et.al.2001] la relación con la mineralización metálica en el área, lo que constituye una de las bases principales para tomar estos elementos como índices de búsqueda. Los desplazamientos verticales de diferentes bloques, donde este sistema juega un importante papel, son una de las bases principales de la zonalidad Metaloestructural propuesta.

Para la investigación contamos con la siguiente información:

1. Litogeoquímica de monoelementos a escala 1:50 000
2. Componente total del campo magnético y espectrométrica del Levantamiento. Aerogeofísico Complejo a escala 1:50 000.
3. Mapa geológico a escala 1:50 000.
4. Información gravimétrica 1:50 000.
5. Imágenes de reflectancia multiespectral del proyecto Tematic Maps.
6. Resultados del muestreo geoquímico en áreas aisladas.
7. Información en sectores de prospección
8. Resultados de los trabajos de reconocimiento para Au-Ag en el sector La Argentífera





## MODELO CONCEPTUAL

Luego de la revisión de la información existente y la bibliografía actualizada del tema [Montano et. al] y en base a la similitud entre los índices regionales que presentan estos depósitos se decidió adoptar los siguientes modelos conceptuales generalizados:

- Sulfuros Masivos en Fm Arroyo Cangre. ( tipo Broken Hill)
- Sulfuros en Secuencias Terrígenas de San Cayetano. (generaliza los tipos Areniscas portadoras de Cu, SEDEX, Blackbird y Vetas Polimetálicas

Estos modelos debe ser lo suficientemente amplio y flexible como para que capte cualquier característica de los tipos de depósitos que incluye, así como que tenga en cuenta la disminución o total ausencia de los parámetros que los caracterizan debido a su posición (ciegos) en el actual corte de las Alturas Pizarrosas del Sur.

El pronóstico de zonas perspectivas para estos modelos lo basamos inicialmente y de forma general en los siguientes criterios:

- Geoquímico
- Alteraciones
- Tectónico
- Estratigráfico

Para cada uno de estos criterios se crearon sub-modelos particionados [Fernández de Lara y Alaminos], calculándose de forma independiente y luego integrándolos según un peso para obtener la favorabilidad final.

## CRITERIOS GEOQUÍMICOS.

Se calculan independientes por cada uno de los modelos adoptados

## MODELO GEOQUÍMICO PARA ARROYO CANGRE

Para este caso la existencia de un conocimiento de expertos, así como de patrones conocidos, nos permitió la confección de un modelo matemático complejo de diagnóstico, el cual utiliza métodos inductivos, deductivos e integradores para el cálculo de este criterio

Ha sido probado [Fernández de Lara 1993] que los mejores resultados los aportan los modelos complejos donde la información es procesada bajo distintos principios y finalmente integrados sinérgicamente.

## MODELOS DEDUCTIVOS

Como métodos deductivos de diagnóstico se usaron Sistemas de Expertos basados en los principios de la inteligencia artificial, que realizan la clasificación de un objeto por el grado de certidumbre que se tenga acerca de su pertenencia a una clase determinada. Estas certidumbres se calculan en base al aporte de un conjunto de reglas construidas por uno o varios expertos de acuerdo a sus conocimientos del tema.

Los Sistema Expertos usados son creados por el sistema generador de programas *RELIS* [Fernández de Lara 1993] y permiten el cálculo de la certidumbre (que en nuestro caso representa el grado de favorabilidad), valorando información incompleta y/o inexacta. Además pueden trabajar como un módulo externo de procesamiento de imágenes del SIG *IDRISI*.



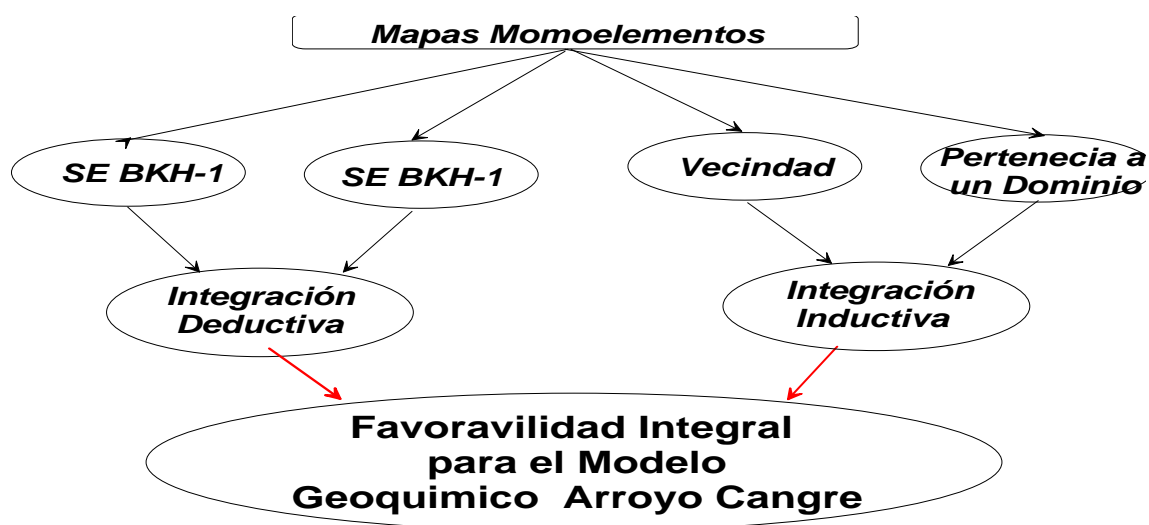
El modelo de Broken Hill plantea como elementos útiles el Cu, Ag y Pb y como elementos indicadores estos tres incluyendo además el Mo. Por lo que consideramos de alta importancia principalmente los tres primeros. El análisis de los datos sobre los sectores conocidos nos indica en este caso que los elementos principales son el Cu, Zn y Pb apareciendo como elementos secundarios el Mn, V y Ga, tomando importancia estos dos últimos solo cuando aparecen uno o mas elementos de los principales . Con cada uno de estos conocimientos construimos dos Sistemas Expertos (*BKH1* y *BKH2*), final mente estos resultados son integrados por el método de Componentes Principales.

#### MODELOS INDUCTIVOS

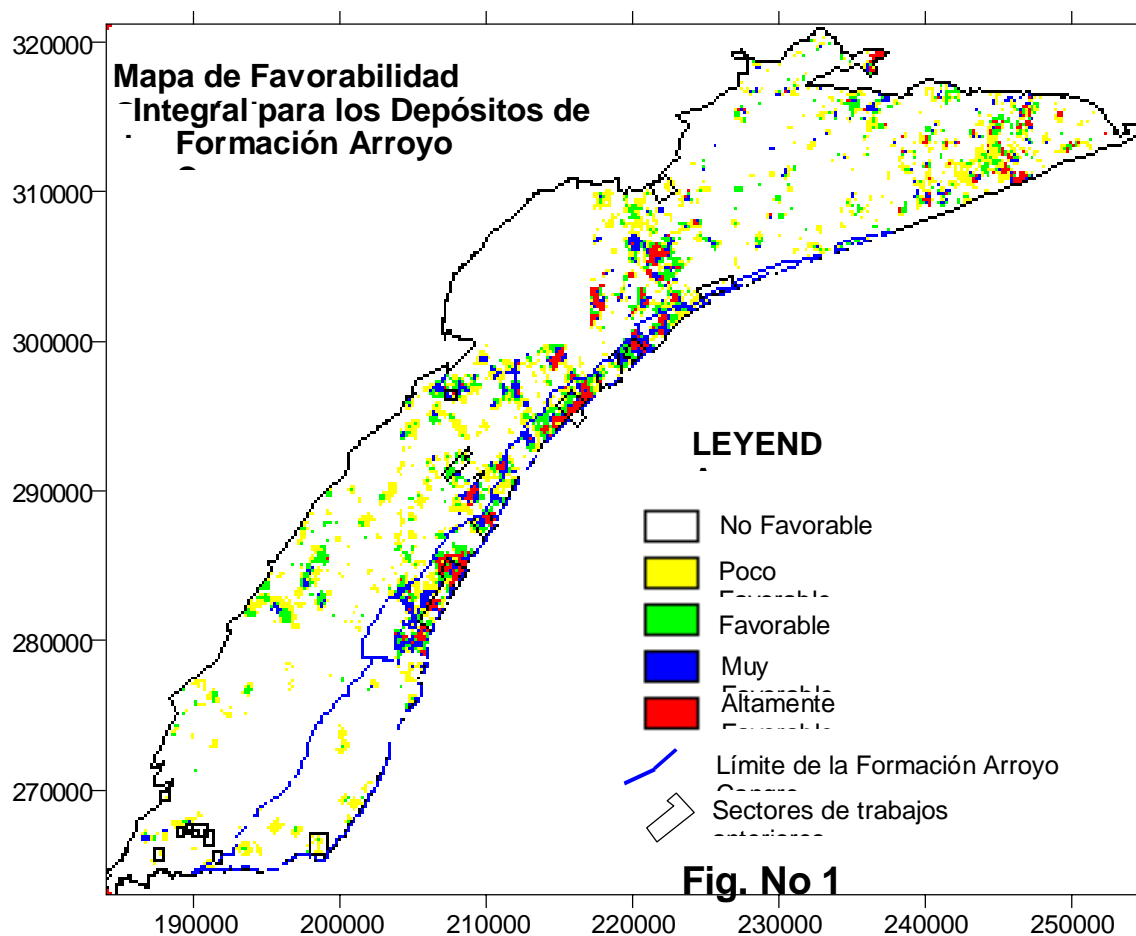
Para el cálculo de la favorabilidad geoquímica por métodos inductivos usamos los métodos del Paralelepípedo y Mínima Distancia a la Media. Fue creada una Matriz de Aprendizaje a partir de los sectores conocidos con la cual se realizaron varias pruebas.

Para integrar los resultados de ambos métodos realizamos una suma algebraica tomando el valor 1 las zonas mapeadas por un método y valor dos por ambos métodos.

Como se dijo anteriormente los mejores resultados se obtienen al procesar la información bajo diferentes principios y luego integrarla ,para esto usaremos un sencillo Sistema Experto integrador (*BKHINT*) donde se calcula la favorabilidad integrada de ambos enfoques. El esquema general del cálculo se muestra a continuación.



Los resultados se muestran en la Figura. No 1

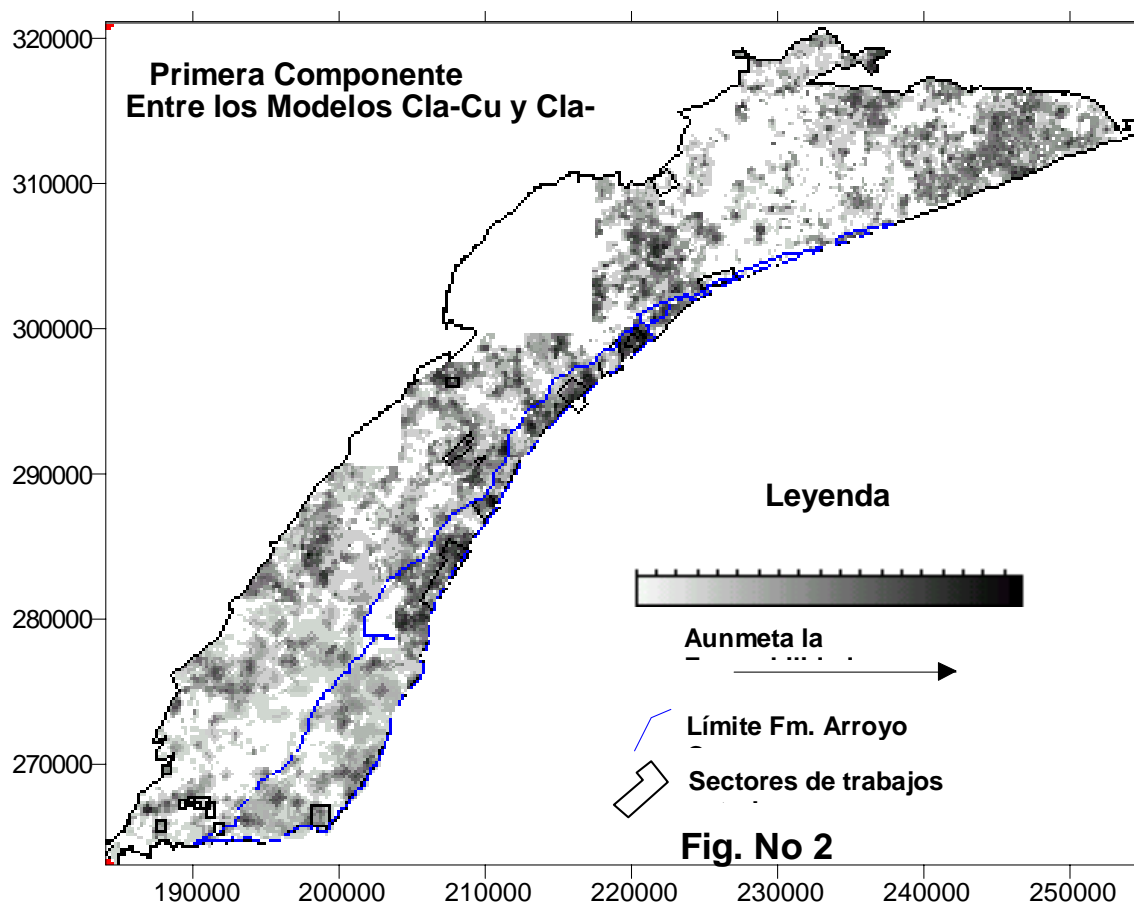


#### MODELO GEOQUIMICO PARA SAN CAYETANO

Para este caso sólo usamos Sistemas de Expertos basados en el conocimiento que aportan los modelos descritos y la experiencia de nuestros especialistas debido a la conocida ausencia de zonas patrones. El criterio de favorabilidad geoquímica se calculó según las dos asociaciones clásicas establecidas:

- asociación para depósitos cupríferos donde intervienen el Co, Cu y Mo, contribuyendo también el Ga y V si existe el Co o Cu (SE. APS-CU)
- asociación para depósitos de Pb-Zn incluye los elementos Pb, Zn y Ag y en el caso del Ba, solo lo toma en cuenta en zonas locales de alta intensidad. asociadas a los elementos principales. (SE APS-PBZN)

Ambos resultados son integrados por el Método de las Componentes Principales Finalmente para integrar ambos resultados se utilizó el Análisis de Componentes Principales (Fig. No 2)



## ALTERACIONES

De acuerdo a la experiencia y conceptos teóricos, todos los depósitos de sulfuros que puedan aparecer en la región, independientemente de la roca donde se emplacen, deben presentar un grupo de alteraciones de carácter regional, algunas exógenas y otros productos de su formación. El hecho de que no tengamos mapas de alteraciones reales nos obliga a confeccionar mapa de probabilidades de estos mediante índices indirectos. Debemos tomar que estas respuestas son ambiguas, pudiendo tener otra fuente que no sea la propuesta.

En base a la información que poseemos podemos predecir :

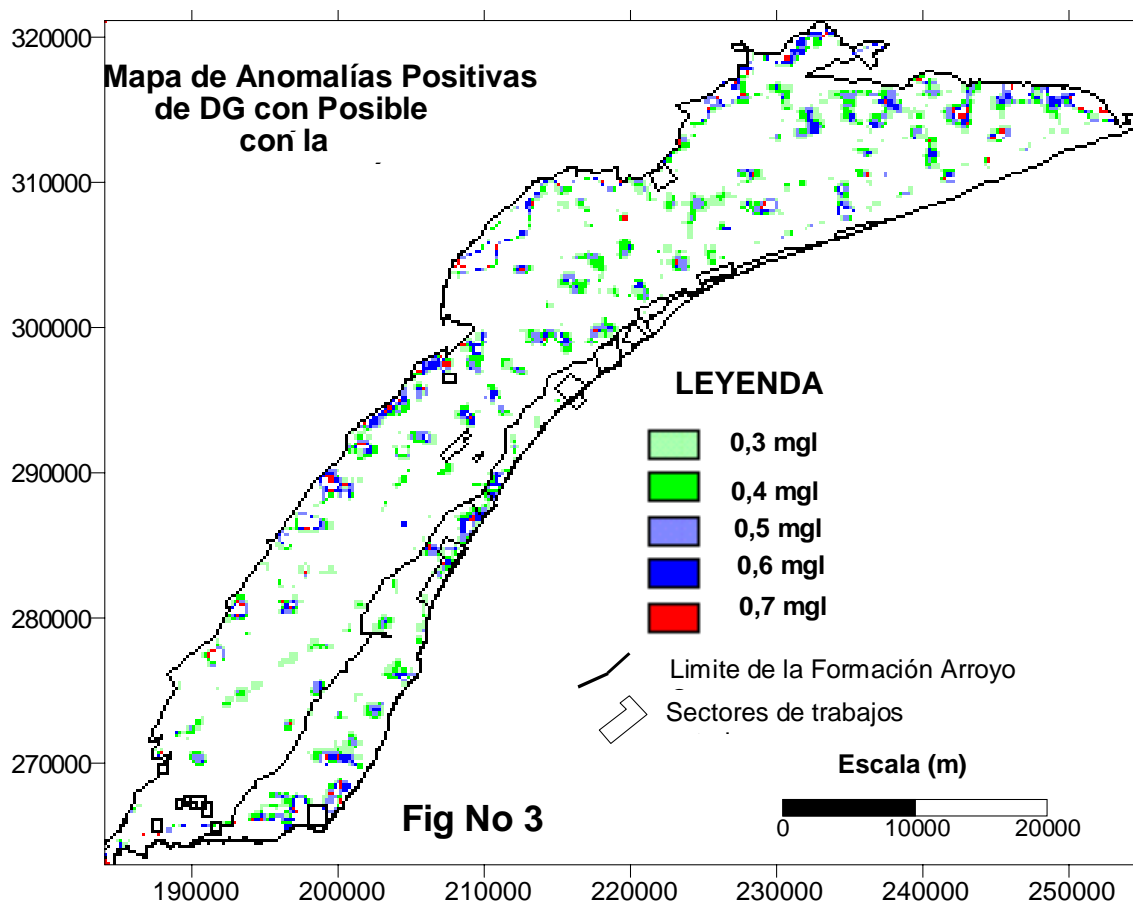
- Piritización
- Oxidación
- Argilitización

La piritización aparece en un gran número de depósitos en la región. Su efecto produce un aumento en la densidad de las rocas encajantes que pueden provocar anomalías positivas del campo gravimétrico.

A sido probado [Martinez et. al 1988] que el efecto de la piritización aumenta la densidad efectiva en mas de 0,04 g/cm<sup>3</sup>, lo que para un cuerpo esférico con radio igual a 300 m y profundidad del centro de 400 m, provoca una anomalía de 0,3 mgl y un ancho aproximado de 600 m.



Para la detección de zonas con una densidad anómala positiva, con posible asociación con una zona piritizada, se definió como óptima los valores entre 0,3 y 0,7 mgl de las anomalías residuales positivas del campo gravimétrico. (Fig. No 3). El área marcada con esta característica es el 9.7% del área total, distribuidas en áreas de dimensiones desde 200 x 200 m hasta agrupaciones de aproximadamente 1 Km<sup>2</sup> de superficie.

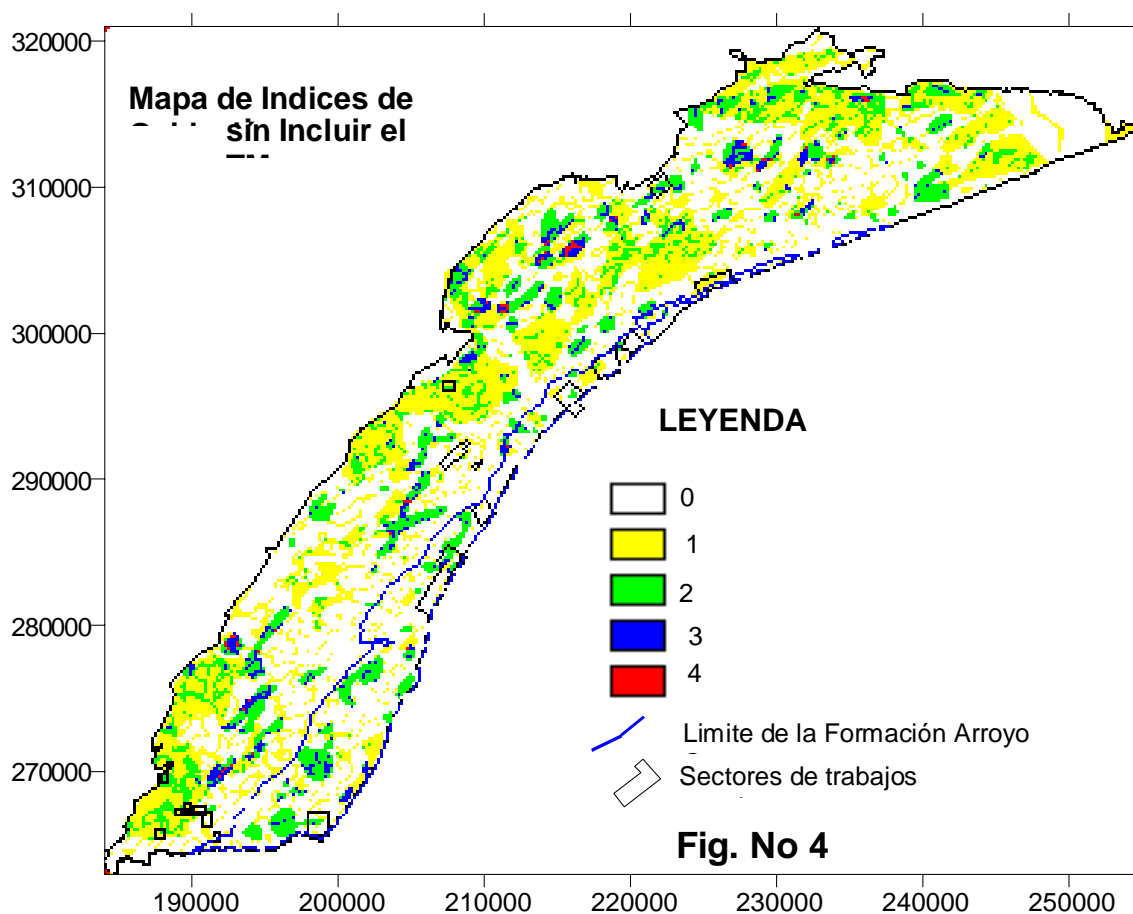


La oxidación es la alteración más común de los depósitos de sulfuros. Como índice puede estar asociada al afloramiento de cuerpos minerales locales o a zonas mas amplias como alteración de las rocas de caja. Su mapeo se puede lograr mediante la combinación de anomalías locales positivas de baja intensidad del campo magnético, anomalías de Th y U de iguales características y por relaciones entre bandas del TM.

Como índice de zonas oxidación mapeadas por el campo aeromagnético se consideraron las anomalías locales positivas menores que 10 nT de una transformación del campo total.

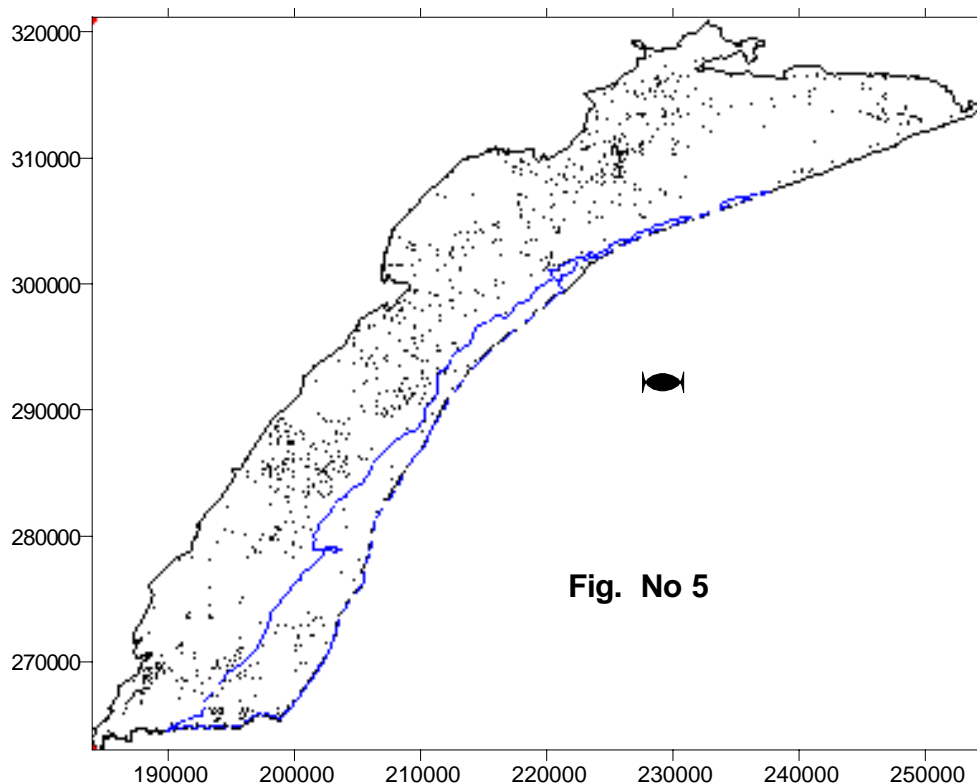
En el caso del Th conocemos que se puede asociar con el Fe, mapeando zonas de oxidación. Fueron tomadas las zonas positivas locales y las zonas anómalas positivas mayor que 2% que no tengan relación con determinada formación geológica. Las primeras zonas pueden correlacionarse con zonas de oxidación pequeñas e intensas y las

Mediante la suma algebraica de estos tres mapas se obtiene un mapa con tres categorías de favorabilidad para las zonas de oxidación parcial. (Fig. No 4)

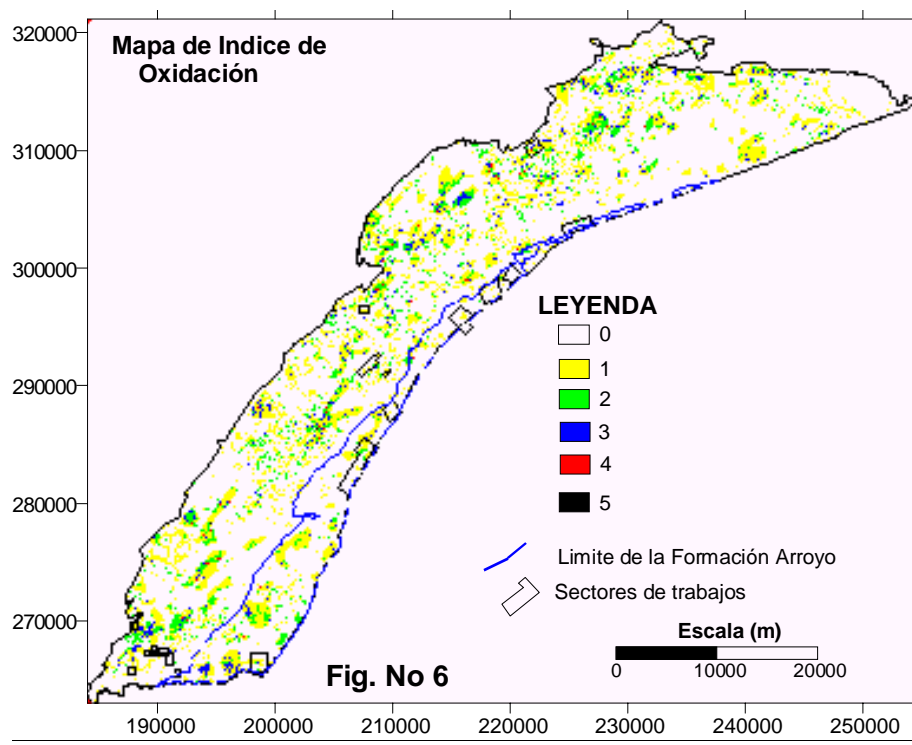


También con vistas a predecir zonas de oxidación se realizó el procesamiento de imágenes multiespectrales del LANSAT. Fueron realizado los métodos de razones de bandas, técnicas de Crosta y técnicas de defoliación, resultando este último la mas resolutive. (Fig.No5)





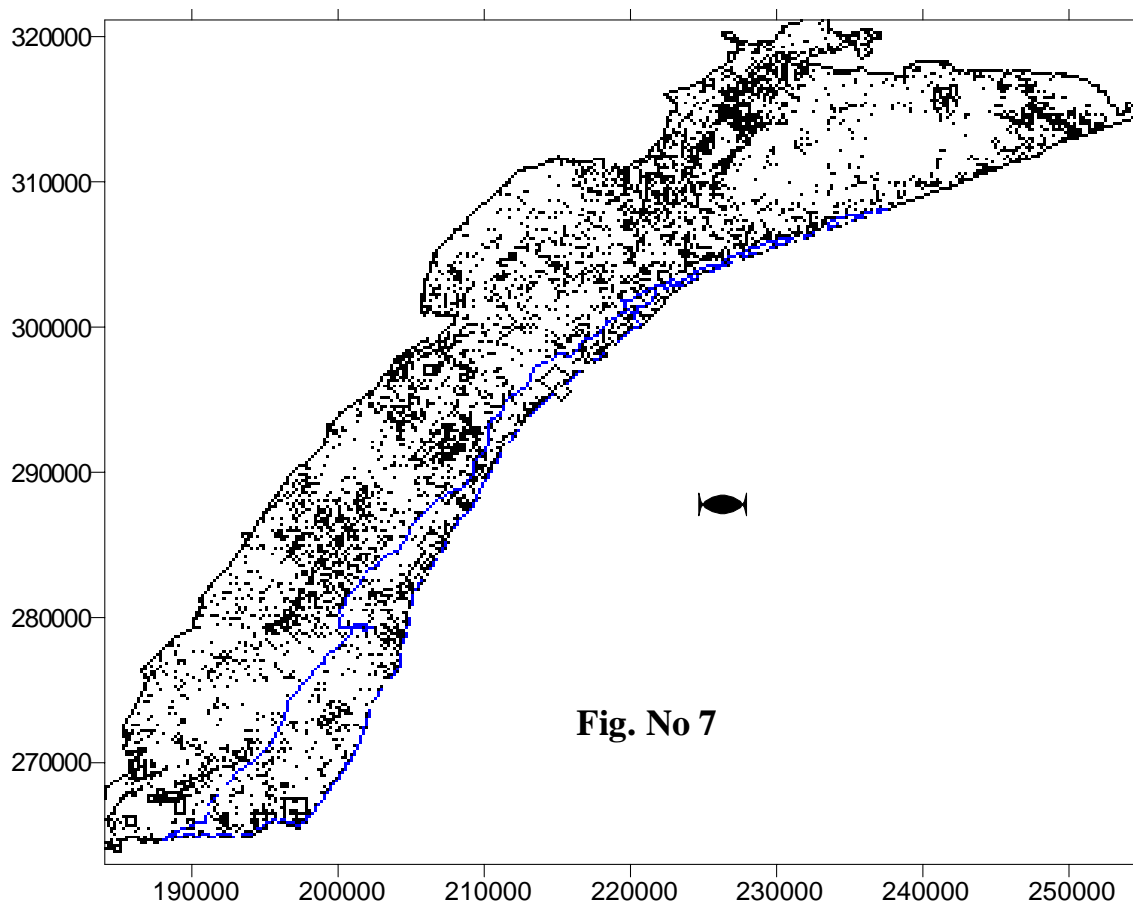
Finalmente este resultado fue conjugado con el anterior, logrando finalmente la respuesta para este índice (Fig. No 6).





La argilitización también es una alteración generalizada y puede ser asociada a una transformación de las bandas del TM, que mapea los minerales arcillosos.

En el caso de la argilitización también se desarrollaron los mismos métodos seleccionándose la imagen H obtenida de la aplicación del método de Crosta, la cual fue llevada finalmente a una escala booleana, (Fig. No 7).



#### CRITERIO TECTONICO

En ninguno de los modelos adoptados para el territorio se describe un control tectónico, sin embargo en su proceso de formación, relacionado con procesos exhalativos (tipificado en el modelo SEDEX), juegan un papel principal las zonas tectónicas por donde se canalizan las soluciones mineralizadas teniendo que tener las siguientes características :

1. Sinsedimentarias
2. Profundas (que corten las fuentes calóricas)
3. Carácter distensivo

En el área aparece un sistema tectónico transversal de rumbo noroeste-sureste, el cual aunque difícil de detectar por métodos convencionales pueden ser mapeado por la combinación de varios métodos.



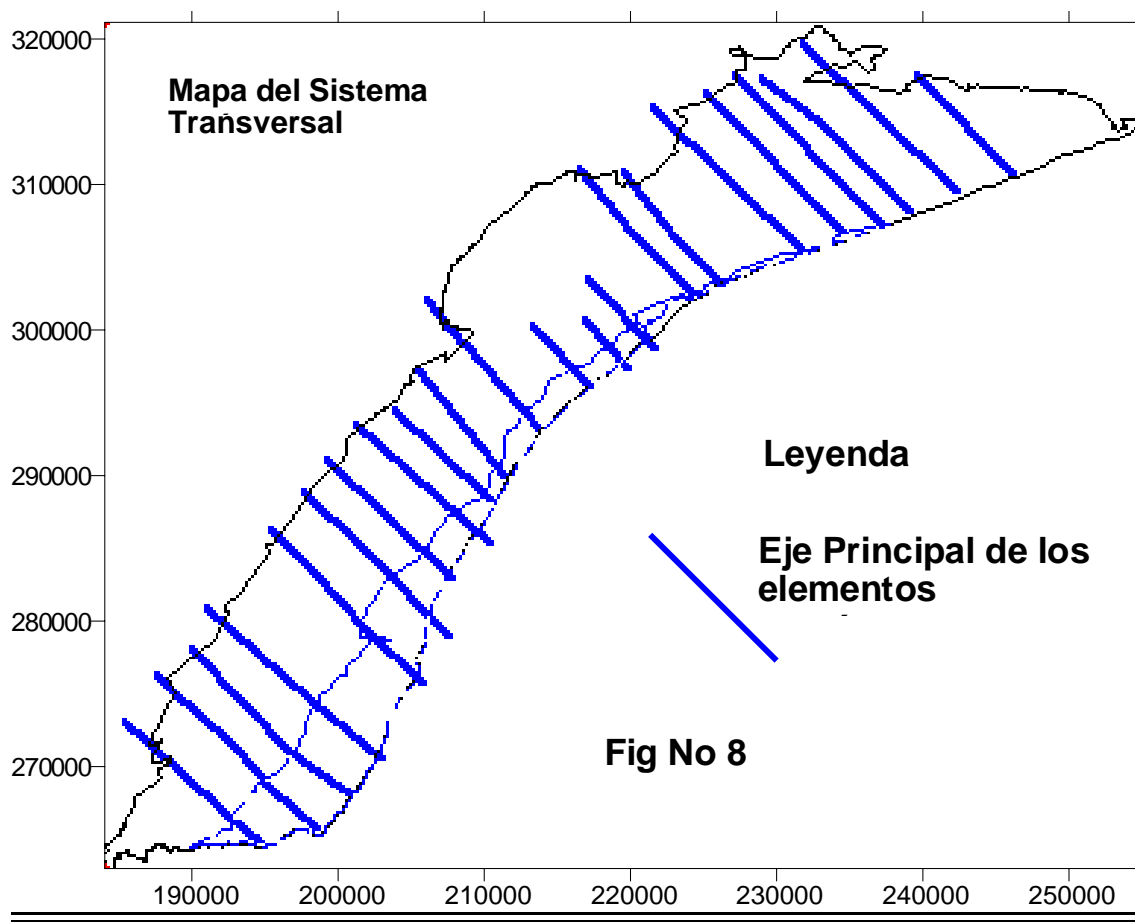
Hemos propuesto, explicado [Fernández de Lara et. al 2001] que estas fallas cumplen con estas características y que la distribución regional de la posición de los depósitos conocidos presentan una relación espacial regularizada con respecto a estas.

También fue comprobado en uno de los elementos de este sistema al oeste del área en los alrededores de la mina antigua La Argentífera [Fernández de Lara et. al 2002] su carácter distensivo y la presencia de mineralización aurífera y polimetálica

Debido a esto, estas alienaciones pueden considerarse como un criterio de prospección.

Para la determinación de estas estructuras se realizó la interpretación de forma independiente del campo magnético, los canales espectrométrico, el campo gravimétrico, los mapas de niveles de fondo de los monoelementos geoquímicos y el mapa geológico; este último tomando en cuenta la distribución espacial de las unidades presentes.

Estos resultados fueron generalizados en base a la coincidencia de los elementos y promediando una posición única para los elementos. La determinación del ancho de estas estructuras es bastante contradictorio por lo que se decidió mostrar solamente una propuesta de la posición de su eje central con determinado rango de certidumbre (Fig. No 8).



#### CRITERIOS ESTRATIGRÁFICO Y LITOLOGO - FACIAL.



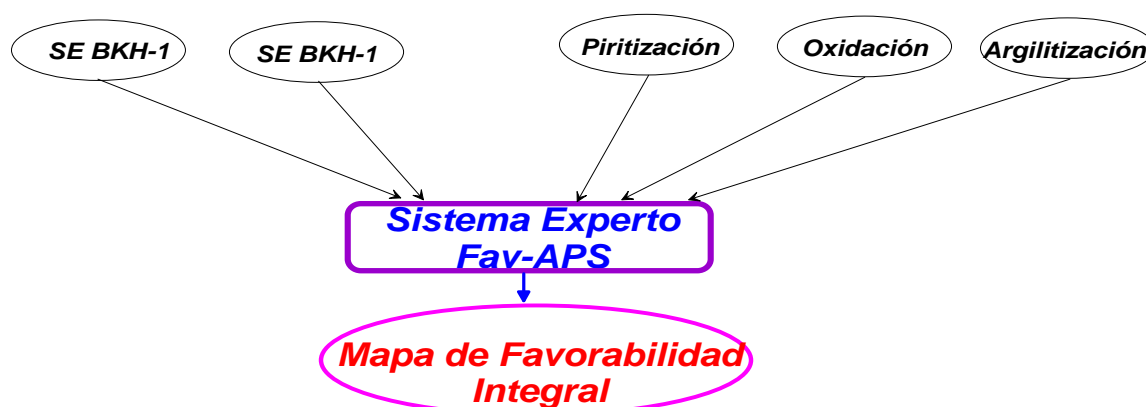
En investigaciones anteriores se ha planteado un determinado control litológico sobre la mineralización, basado fundamentalmente en la relación arena-arcilla de los diferentes paquetes que condiciona la dinámica de circulación de las soluciones mineralizadas. En base a la información que poseemos este criterio nos resultó poco confiable por lo que no lo incluimos en proceso de diagnóstico sino que será comparado posteriormente para comprobar su veracidad.

### CÁLCULO DE LA FAVORABILIDAD INTEGRAL

Luego del análisis de los parámetros calculados concluimos que:

- El parámetro más expresivo es la geoquímica.
- Los resultados para ambos modelos geoquímicos son similares en su distribución, aunque con variaciones en sus intensidades. Esto se debe a que aunque están calculados bajo diferentes enfoques y leyes, de forma general se basa en asignarles más peso a un grupo de elementos básicos y uno menor a elementos indicadores entrando de una forma u otra en ambos modelos un conjunto de elementos similares.
- El factor complejo grado de oxidación está bien fundamentado y la distribución areal tiene alta lógica metalogénica.
- Los factores piritización y argilitización presentan también una lógica en su distribución, aunque de menor grado, siendo la piritización mayor que la del factor que propone las alteraciones.
- El factor argilitización no presenta una justificación muy lógica según nuestra experiencia práctica en los depósitos de la región.
- Los factores relacionados con distintos tipos de alteraciones no deben mezclarse en un factor único como habíamos planteado al inicio, debido a la diferencia en su génesis. Por lo que estos tres factores deben incluirse de forma independiente en el cálculo de la favorabilidad integral.
- El factor tectónico no está bien demostrado por lo que no se incluirá en el proceso. Los resultados finales serán comparados con la nueva propuesta tectónica para comprobar su veracidad.
- Los factores estratigráfico y litológico no debe incluirse en el proceso, debido a su ambigüedad según la información utilizada.

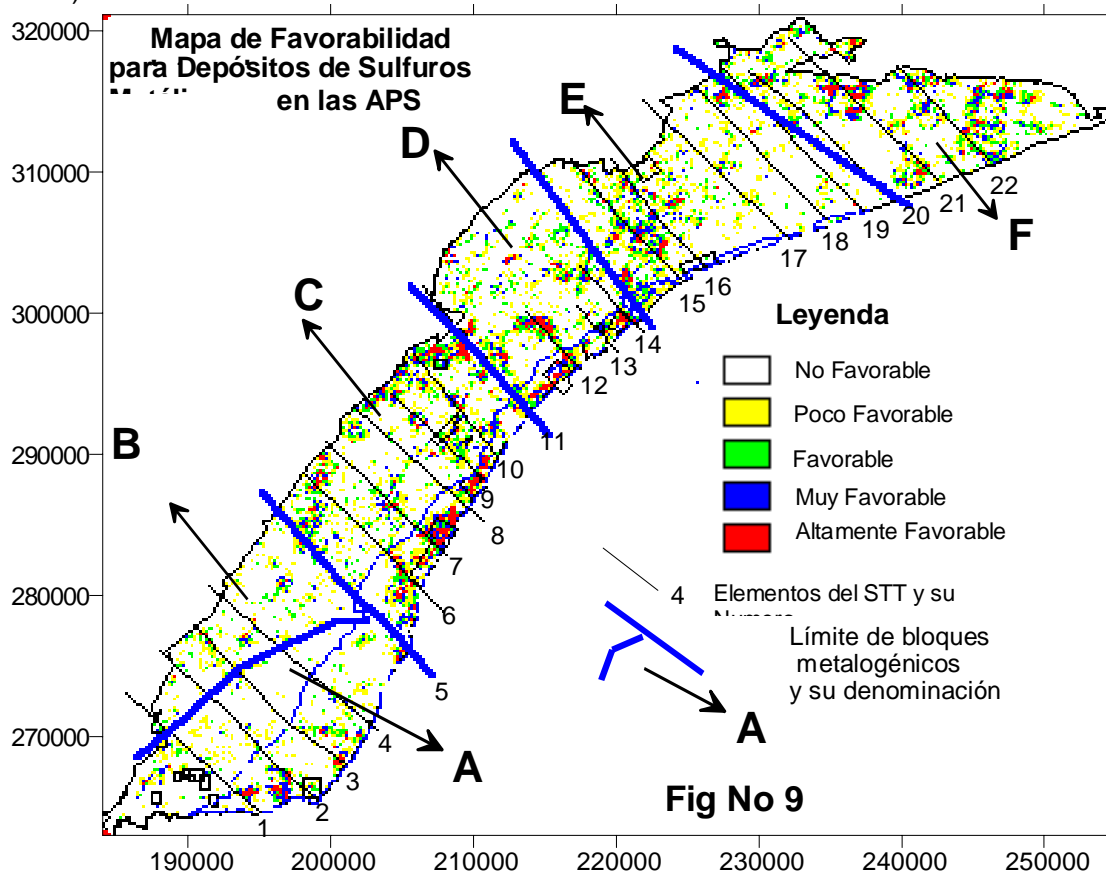
En base a esto proponemos el siguiente Modelo Integrador General:



Esta integración se logra mediante el SE FAV-APS que en base a las conclusiones anteriores toma en cuenta los resultados de los índices de alteraciones, la mejor respuesta de los dos modelos geoquímicos o en algunos casos la simbiosis de ambos, así



también como el grado de estudio del territorio, ya que existe en la parte noroeste un sector donde no se cuenta con la información geoquímica. Finalmente este mapa de grados de certidumbre es reclasificado en las siguientes categorías de favorabilidad (Fig. No 9).



Categoría	Categoría de Favorabilidad	% ACUMULATIVO
0	No Favorable	
I	Poco Favorable	20,6
II	Favorable	10,22
III	Muy Favorable	6,7
IV	Altamente Favorable	4,4

Como vemos el 20% del área presenta algún grado de perspectiva, estando la mitad de estas clasificadas con un grado de favorabilidad superior. Estos porcentajes satisfacen las condiciones a priori que deben cumplir los resultados planteados en el Modelo Conceptual con un grado de agrupación y morfología que también corresponde con el Modelo Conceptual.

Las áreas de mayor perspectiva de forma general están rodeadas por áreas de menor grado, lo que también propone una distribución lógica.



La distribución de las áreas favorables divide el área de las Alturas Pizarrosas del Sur en seis zonas según su cantidad de ocurrencia, lo que constituye la fundamentación de una nueva zonalidad metalotectónica que después explicaremos.

Dentro de la Formación San Cayetano la parte central del área, relacionada con las zonas metaloestructurales C y D, limitada entre los elementos del Sistema Tectónico Transversal No 5 y No 16, es la que presenta mayor concentración de zonas favorables.

La distribución de las áreas favorables presenta como modelos principales alineaciones en dirección SE-NW. Estas alineaciones generalmente se mantienen de forma continua, aunque con valores de categoría I y/o II de favorabilidad. En otras ocasiones se pueden correlacionar por agrupaciones cuasi-isométricas de mayores valores de favorabilidad.

Estas alineaciones de zonas de alta favorabilidad presentan una alta coincidencia con los elementos del Sistema Tectónico Transversal determinados en el factor tectónico, comprobando la hipótesis del control de estas estructuras sobre la formación de la mineralización.

A su vez esta coincidencia aumenta el grado de certidumbre de la favorabilidad de estas alineaciones al agregársele otro criterio.

De la comparación del mapa de favorabilidad con el mapa geológico se comprueba la ambigüedad de el control estratigráfico o litológico de la mineralización en la escala a que estamos realizando los trabajos.

Sin embargo, si se observa una marcada correspondencia entre el área de las zonas de favorabilidad y el área de determinadas escamas (Fig. No 10).

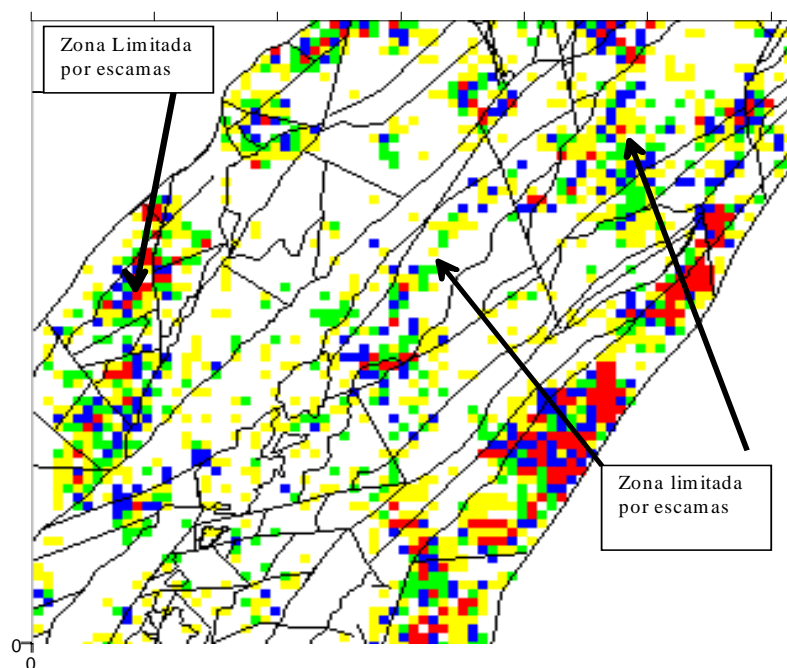


Fig No 10





Como vemos las agrupaciones se limitan a determinadas escamas o unidades tectónicas de menor orden independientemente del paquete que sea. A nuestro nivel de información es imposible probar cual es la característica estructural que influye en la perspectiva, aunque parece ser que se relaciona con el nivel del corte de erosión por similitud con las características regionales que fundamentan la zonalidad Metaloestructural.

De acuerdo a esta marcada relación, el límite de estas unidades nos apoyará en el contorno de las zonas a proponer para su comprobación.

#### SELECCIÓN DE ÁREAS PARA EJECUTAR TRABAJOS DE CONTINUACIÓN

La selección de las áreas para su revisión se realizó por las características de las zonas de favorabilidad (dimensiones, valores de favorabilidad, distribución espacial, pertenencia a alienaciones, etc.), así como el grado de certidumbre que se tenga acerca de su origen asociado a posibles causas planteadas en el modelo conceptual.

Las áreas seleccionadas se dividen en dos clases, las propuestas para una revisión inmediata (clase A) y las propuestas para una revisión mediata (clase B), las que luego de la adquisición de nuevos conocimientos durante la revisión de las primeras áreas, permitirán tomar decisiones mas acertadas.

Fueron seleccionadas 23 zonas entre las dos clases de prioridad, siete en la Fm Arroyo Cangre de estas cuatro de clase A y 16 en la Fm San Cayetano. Seis de estas tipo A.

#### ZONACIÓN METALOESTRUCTURAL

Con el objetivo de establecer una relación la ubicación de los sectores determinados como favorables para la mineralización y los criterios litológico - facial y tectono-estructural adoptados, se establece una nueva zonalidad metaloestructural en el territorio con la cual se validan los criterios para incorporarlos a la elaboración del modelo conceptual generalizado.

La nueva Zonalidad Metaloestructural es el resultado de la superposición del Mapa de Zonalidad Estructural obtenido y el Mapa de Favorabilidad integral.

Fueron separados seis bloques determinándose su tendencia a un mayor o menor ascenso basado en la distribución de las distintas subformaciones de San Cayetano y Arroyo Cangre, considerando como más elevado el bloque donde aflora en mayor grado las correspondientes a la parte inferior del corte o contienen ventanas tectónicas donde afloran las secuencias calcáreas de la faja de mogotes y la distribución de las facies arenosas y arcillosas de la Formación San Cayetano. esta zonación fue comparada con el mapa de favorabilidad concluyendo que para que una zona de esta nueva división metalo-estructural sea considerada favorable, debe cumplir las dos condiciones derivadas de los criterios validados.

- Tendencia manifiesta al ascenso, lo que implica mayor acción erosiva y exposición de los depósitos.
- Heterogeneidad en la distribución de la facies areniscas y arcillosas de la Fm San Cayetano.



## CONCLUSIONES

1. El trabajo realizado permite racionalizar el área en mas de un 80%, seleccionando los sectores que deben pasar a estadios de investigación geológica. El potencial metalogénico de las APS se puede evaluar como **POSITIVO** según los resultados obtenidos.
2. El uso de Sistemas Expertos agiliza y amplía las posibilidades de la clasificación y la interpretación, pudiéndose procesar conjuntamente información de diferentes grados de estudio, y bajo reglas con cualquier estructura de razonamiento.
3. Se refuerza la hipótesis acerca de que las fallas sinsedimentarias que intervienen en la formación de los depósitos exhalativos pertenecen al sistema tectónico transversal detectado en el área, pudiendo incluirse como criterio de prospección regional, tanto para la Fm San Cayetano como para la Fm. Arroyo Cangre.
4. El control lito-facial de la mineralización sigue siendo un criterio ambiguo para la escala del trabajo.
5. Aunque no se pudo determinar exactamente la causa, existe una relación entre la mineralización y determinadas escamas intraformacionales, independiente de la subformación (facie) a que pertenezcan.
6. La nueva zonación Metaloestructural esta correctamente fundamentada dada la relación entre las zona dadas como favorables y las estructuras. Aunque es de carácter local puede extrapolarse a las Alturas Pizarrosas del Norte. La definición de estos tipos de zonación pueden ser de gran utilidad para la discriminación de zonas perspectivas a priori, sobre todo en territorios de alta complejidad tectónica.
7. La mayor aparición de zonas de favorabilidad en los bloques mas elevados, demuestran que la posición actual de los depósitos está estrechamente ligada al corte de erosión. La zonalidad geoquímica en el área no permite determinar si el corte de erosión se encuentra en el nivel supramineral o inframineral. En los bloques relativamente mas hundidos la mineralización debe encontrarse en la profundidad como en el caso del bloque E donde en el sector Viñales se detecta mineralización polimetálica a mas de 170 ms.
8. Las cinco conclusiones anteriores demuestran la estrecha relación entre los eventos y estructuras tectónicas con la formación y/o posición actual de los depósitos.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar trabajos de continuación en las zonas seleccionadas... En el caso de las zonas relacionadas con el STT deben tomarse en consideración las estructuras tectónicas de menor orden. En estos lugares que resulten de interés debido a la posible posición en el corte de estos depósitos se hace imprescindible su estudio en profundidad con los métodos correspondientes.
2. Los trabajos de comprobación se realizarán de forma interactiva con la reinterpretación de los resultados de este trabajo. Una vez comprobado un determinado número de zonas se debe revalorar el modelo conceptual en base al nuevo conocimiento adquirido y reinterpretar (de forma dirigida) la información.
3. Tomar en cuenta el sistema tectónico como índice de prospección regional .
4. Transferir esta metodología a otros territorios de interés.



## BIBLIOGRAFÍA

- Crósta, A.P. and Rabelo, A., 1993. Assessing Landsat TM for hydrothermal alteration mapping in central-western Brazil. Proceedings of the Ninth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Pasadena, California, USA, 8-11 February 1993, pp. 1053-1061.
- Fernández de Lara R. 1993 Confección del Mapa Pronóstico, Asistido por Métodos Matemáticos para la Mineralización Sulfurosa en el Distrito Metalogénico Dora-Francisco en Pinar del Río. Tesis Doctoral ISPJAE.
- Fernández de Lara, Denis R., Blandes J., Martin R. 2002 Informe sobre los trabajos de Reconocimiento Geológico para Au y Ag en los Alrededores de la Mina La Argentifera-Los Potreros
- Fernández de Lara y otros 2001. Influencia de la Tectónica Regional en la Formación de Yacimientos Metálicos en la Provincia de Pinar del Río. Memorias del Cuarto Congreso Cubano de Geofísica. CD Ciudad Habana.
- Fernández de Lara y Alaminos C. Metodología para la Implementación del Pronóstico Geológico con el Uso de Técnicas Matemáticas de Diagnóstico y Tecnología SIG (inedito).
- Martidez D. Y Fernández de Lara 1988. Informe Sobre los Trabajos de Levantamiento Geológico 1:50 000 y Búsquedas Acompañantes. Pinar Central (CAME II). ONRM.
- Montano J., Lavandero R., Zafra J. Reevaluación Metalogénica del Potencial de Recursos Minerales Au y Ag y Polimetálicos Asociados a Secuencias Ricas en Materia Orgánica Pinar del Río. IGP.



## **GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN DE LA PARTE BAJA DEL ARCO INSULAR CRETÁCICO EN CUBA CENTRAL (FORMACIÓN LOS PASOS)**

Emiliano Gallardo Eupierre (1), Claro Vázquez García (1), René Prieto Martín(1), Orestes Romero Loynaz(1), Lilavatti Díaz de Villalvilla(2)

(1) *Empresa Geominera Centro*

(2) *Instituto de Geología y paleontología*

La labor de generalización geológica de la Formación Los Pasos constituye un objetivo de gran interés, tanto para Cuba como para el Caribe, por constituir la parte baja del arco volcánico insular cretácico en Cuba central (con características de PIA) y por ser hospedera de varios yacimientos y manifestaciones minerales de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) tipo Kuroko, con contenidos apreciables de Cu y Zn y como acompañantes Ag, Au, Cd y Pb.

Como resultado de este trabajo, realizado por un colectivo de la Empresa Geominera del Centro en colaboración con el IGP, se obtuvo un mapa geológico a escala 1: 25 000 del área de la Formación Los Pasos y se incluyó a esta Unidad geológica las rocas que afloran en el área de la Mina Los Cerros. Se describen las características petrográficas y petrológicas de las litologías presentes, se diferencié la parte baja y la parte alta de la Formación, así como las características esenciales de los principales depósitos conocidos, y establecimos la existencia de dos horizontes principales de localización de la mineralización en el corte estratigráfico de la Formación;

Se creó un modelo conceptual desde el punto de vista metalogénico, basado en la experiencia de nuestros expertos en este campo, así como en los avances teóricos en el contexto internacional, lo cual permitió realizar un pronóstico metalogénico mediante un sistema de información geográfica (SIG) y se seleccionaron 20 sectores con gran potencial para la detección de nuevos depósitos de VMS, lo cual sustenta las bases para futuros trabajos de prospección en el área.



## CRITERIOS DE EXPLORACIÓN DE ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO EN LAS CROMITITAS DE CUBA ORIENTAL

J.A. Proenza(1), F. Gervilla(2), J.M. González-Jimenez(2), J.C. Melgarejo(1), C.J. Garrido(2), F. Zaccarini(3), G. Garuti(4), R. Díaz-Martínez(5), A. Rodríguez-Vega(5), W. Lavaut(6), R. Sánchez-Ruiz(6)

(1) *Universitat de Barcelona*, (2) *Universidad de Granada*, (3) *Universidad de Leoben*, (4) *Universidad de Modena-Reggio Emilia*, (5) *Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa*, (6) *Empresa Geominera de Oriente*

Los depósitos de cromita de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba Oriental), se pueden agrupar en tres tipos, en función de sus contenidos en elementos del grupo del platino (EGP) y de su grado de fraccionación: (1) cromititas ricas en Cr, (2) cromititas ricas en Al, y (3) cromititas ricas en sulfuros.

**Las cromititas ricas en Cr** son representativas del distrito de Mayarí y de una parte del distrito de Sagua de Tánamo. Estas cromititas están relativamente enriquecidas en EGP (hasta 3.7 ppm), y muestran un patrón de EGP normalizado a los valores condriticos caracterizado por una pendiente negativa desde los elementos del subgrupo del Ir (IPGE: Ir, Os y Ru) al Pd. De todos los depósitos estudiados, las cromititas que muestran los contenidos más altos en EGP son las del depósito Caridad (distrito de Sagua de Tánamo), las cuales presentan, sistemáticamente, contenidos totales de EGP > 1 ppm. Estas cromititas muestran enriquecimientos significativos en Rh (hasta 134 ppb) y Pt (hasta 235 ppb). Los principales MGP encontrados en las cromititas son laurita ( $Ru/(Os+Ir+Ru) = 0.51-0.90$ ) - erlichmanita ( $Ru/(Os+Ir+Ru) = 0.41$ ), irarsita, aleaciones de Os-Ir, aleaciones de Ru-Os-Ir-Fe-Ni, diferentes sulfuros de Ir, Os, Rh, Cu, Ni, Pd, y un arseniuro desconocido cuya fórmula se aproxima a  $RhNiAs$ . Los granos de laurita de los depósitos Victoria (distrito de Mayarí) y Monte Bueno (distrito Sagua de Tánamo) se caracterizan por presentar una estructura interna compleja, mostrando un centro de erlichmanita rica en Ru y un borde de laurita rica en Os.

**Las cromititas ricas en Al** son representativas del distrito de Moa-Baracoa y de una parte del distrito de Sagua de Tánamo. Estas cromititas están sistemáticamente empobrecidas en EGP. Sus contenidos totales de EGP se encuentran, normalmente, por debajo de 100 ppb, siendo el Ru el elemento más abundante. Los mayores contenidos de EGP se han encontrado en cromititas masivas del depósito Mercedita (total de EGP = 166 ppb). Las cromititas analizadas exhiben patrones de EGP, normalizados a los valores condriticos irregulares, caracterizados por valores comparables de Os y Ru, una anomalía negativa de Ir, y una pendiente negativa desde el Ru al Pd. En estas cromititas los minerales de EGP son escasos; las únicas fases encontradas son términos de la solución sólida laurita-erlichmanita, con composiciones comprendidas en el intervalo:  $[(Ru_{0.51}Os_{0.39}Ir_{0.09})_{0.99}S_{1.98} - (Ru_{0.85}Os_{0.1}Ir_{0.04}Rh_{0.02})_{1.01}S_{1.98}]$ .

**Las cromititas ricas en sulfuros** de Fe-Ni-Cu son características del depósito Potosí en el distrito de Moa-Baracoa. Los sulfuros predominantes son pirrotina, pentlandita, calcopirita y cubanita. Estas cromititas muestran contenidos en EGP de hasta 1.1 ppm, y una correlación positiva entre el contenido total de EGP y la proporción modal de sulfuros. Las muestras con mayores proporciones modales de sulfuros presentan patrones normalizados a los valores condriticos casi planos y horizontales  $[(Os+Ir+Ru)/(Pt+Pd) = 0.98-1.0]$ . Esta tipología, se caracteriza por presentar una asociación de fases de EGP poco común, caracterizada por la presencia de sperrylita ( $PtAs_2$ ) y, en menor medida, laurita rica en Os (hasta 32 wt %). La esperrylita posee un tamaño de grano inferior a 10  $\mu m$  y se presenta como inclusiones dentro de pentlandita o asociada a clorita y titanita en el contacto con granos de sulfuros. La laurita, al igual que en el resto de los tipos identificados, se presenta incluida en la cromita con un tamaño de grano inferior a 30  $\mu m$ .

En conclusión, dentro de la FOMB, las mayores perspectivas para albergar concentraciones económicas de EGP se encuentran en las cromititas ricas en Cr (Ru, Os, Ir) y en las cromititas ricas en sulfuros (Pt, Pd). Estas cromititas alcanzan valores totales de EGP > 1 ppm, y por consiguiente se convierten en objetivos atractivos de exploración para estos metales nobles. Dados los altos precios del Pt, Pd y Rh con respecto al resto de los EGP, las cromititas ricas en sulfuros (tipo Potosí) serían un objetivo de exploración prioritario.



## DESCUBRIMIENTO DE SISTEMAS DE VETAS Y VETILLAS DE CUARZO AURÍFERAS EN SIGUA: OTRO TIPO DE MINERALIZACIÓN.

**Roberto Sánchez Cruz<sup>(1)</sup>, Pedro Ferro Espinosa<sup>(2)</sup> y José A. Bárzana Rodríguez<sup>(2)</sup>.**

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca 1002 entre Carretera Central y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba. E-mail: [rscruz@igp.minbas.cu](mailto:rscruz@igp.minbas.cu).

(2) Empresa Geominera Oriente. Alturas de San Juan, Carretera de Siboney Km.2.5. Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: [pferro@geominera.co.cu](mailto:pferro@geominera.co.cu); [abarzana@geominera.co.cu](mailto:abarzana@geominera.co.cu)

### RESUMEN

La mineralización aurífera conocida en Sigua aparece en los sectores La Cantera y NE-Sigua. La condición epitermal del pequeño depósito está aún por demostrar, al igual que su factibilidad, pero no es esta la única mineralización aurífera detectada allí... El oro en La Cantera y NE-Sigua aparece en los sulfatos y carbonatos de Pb y Ba: baritina, anglesita, cerusita, pero a unos 2000m hacia el S, donde afloran los plagiogranitos del plutón Daiquirí entre las secuencias volcánicas y vulcano-sedimentarias, los autores detectaron mineralización en vetas de cuarzo con contenidos de oro industriales: En los sectores Las Vetas y Noranda pueden ser observadas vetas y vetillas de cuarzo, con contenidos de oro mayores de 1.0g/t, así como zonas de mineralización de cobre, fundamentalmente malaquita, dentro de rocas parcialmente skarnizadas.

La manifestación Las Vetas, con vetas de menor espesor (1.0-2.0m), presenta los mayores contenidos de oro desde 2.34- 8.99g/t. La manifestación Noranda, representada por vetas paralelas de 400-600m de extensión con Az=330° y espesor entre 25-30m presenta contenidos de oro de hasta 385ppb. El emplazamiento de las vetas apunta por el azimut a la mineralización detectada en La Lechuza, al S de La Cantera, atravesando una anomalía de  $\eta_a > 4.0\%$ . Los trabajos incluyeron la realización de tres perfiles de muestreo (P-20m); los perfiles más septentrionales arrojaron contenidos anómalos de hasta 340 ppb de oro en afloramientos aislados.

Los sectores Las Vetas y Noranda no parecen estar relacionadas entre sí, primero por su emplazamiento y segundo por sus rasgos externos, sin embargo el hallazgo apunta hacia el aumento de la perspectiva del sector Sigua.

### ABSTRACT

The well-known auriferous showings in Sigua, appears in the La Cantera and NE-Sigua sectors. The epitermal condition for that small deposit is not demonstrate, the same as its feasibility, but, it is not the only auriferous showings detected there... The occurrence of gold in La Cantera and NE-Sigua appears related to sulphates and carbonates of Pb and Ba: barite, anglesite, cerusite, but at 2000m toward the south, where granites of the Daiquirí plutonic rocks appears among the volcanic and vulcano-sedimentary sequences, the authors detected gold with industrial contents inside quartz veins: Las Vetas and Noranda sectors, where veins and veinlets of quartz of different thickness can be observed, with gold grades up to 1.0g/t, as well as some areas with cupriferous minerals, fundamentally malachite, inside partially skarnized rocks.





The Las Vetás showing, with quartz veins of smaller width (1.0-2.0m), it presents the biggest gold grades from 2.34 - 8.99g/t. The Noranda showing, represented by parallel veins of 400-600m of extension with  $Az=330^\circ$  and thickness among 25-30m possesses contents of gold of 60-70ppb arriving up to the 385ppb. The veins points for its azimuth to the detected mineralization in the La Lechuza, located in the southern part of La Cantera, crossing away an  $\eta_a > 4.0\%$  anomaly. The works included the realization of three sampling profiles (step-20m); the most northern profiles threw anomalous contents up to 340 ppb of gold in isolated outcrops.

The sectors Las Vetás and Noranda sectors don't seem to be related to each other, however the discovery points toward the increase of the perspectives of the Sigüa sector in general.

## INTRODUCCIÓN.

El área más oriental de la Sierra Maestra se encuentra ubicada exactamente al Este de la Ciudad de Santiago de Cuba, en el extremo oriental de la cordillera de La Gran Piedra y se alarga desde la margen de su costa sur hasta aproximadamente la latitud del poblado de El Escandel. Los límites occidental y oriental pasan respectivamente por las cercanías del poblado de Sevilla y la laguna de Baconao en la carta topográfica a escala 1: 50 000 Siboney.

El descubrimiento fue realizado durante los trabajos de localización, revisión y muestreo de todos los puntos de mineralización, manifestaciones minerales, yacimientos y zonas de alteración hidrotermal con el fin de detectar sectores de interés para la aparición de yacimientos minerales de dos tipos fundamentales: oro asociado a depósitos epitermales y oro asociado a skarnes auríferos, (R. Sánchez Cruz, 1993).

La mineralización aurífera en Sigüa y el pequeño depósito de oro de La Cantera descubiertos en 1994 (R. Sánchez Cruz, P. Ferro y J.A. Bárzana 1997), enfocan el interés minero de la región en dos sectores específicos donde se han realizado trabajos iniciales de prospección, léase: La Cantera y NE Sigüa fundamentalmente. La condición epitermal del pequeño depósito está aún por demostrar, al igual que su potencialidad, sin embargo no es esta la única mineralización aurífera detectada en la región. Si los minerales de oro en La Cantera y NE de Sigüa se asocian definitivamente a sulfatos de Pb y Ba, hallándose ampliamente distribuidos en la zona, la baritina, la anglesita, la cerusita y los sulfuros, generalmente pirita dentro de un marco volcánico en que se destacan las grandes potencias de tobas soldadas y corridas de lavas riódacíticas y riolíticas con pirita singenética mayormente oxidadas, no muy alejadas de centros volcánicos de composición más básica asociados a anomalías magnéticas positivas; en la parte sur de La Cantera, hacia el SW del Alto de La Burra, en el endo y exocontacto del extremo oriental del plutón diorítico Daiquirí, los mismos autores detectaron mineralización en vetas de cuarzo con contenidos de oro industriales (muestra SP IV-10 = 8.99 g/T).

El sector que nos ocupa se halla entre los 1500m – 2000m inmediatamente al S entre La Cantera y la elevación Cintarazo, aflorando los plagiogranitos de Daiquirí entre secuencias de lavas riolito-riódacíticas y tobas de igual composición. Inmediatamente al N de esa área aparecen rocas de composición más básica, andesito-basáltica de la Fm Vinent, en



cuyo contacto con las rocas intrusivas se detectan fuertes potencias de skarnes, de hierro, cuyas menas hematito-magnetíticas han sido explotadas, quedando restos de laboreos mineros antiguos y gran cantidad de escombros, residuos de la explotación diseminados por toda el área. El sur del sector, en contacto con las rocas plutónicas aparecen calizas del neógeno de la Fm. Maya y algunas calizas grises datadas como de edad Cretácica. Desde el alto de La Burra hacia el sector, pueden ser observadas vetas y vetillas de cuarzo de distinta potencia así como zonas de mineralización de cobre, fundamentalmente malaquita, dentro de rocas por partes fuertemente skarnitizadas. La mayoría de estas vetas y vetillas presentan contenidos anómalos de oro de hasta 1.0g/T.

La semejanza de la mineralización de cuarzo, generalmente cortante y entrecruzada con los plagiogranitos y volcánicos, puede hacernos pensar en su relación con el llamado segundo complejo magmático en la zona (R. Rodríguez, en G. Kuzovkov et al. 1988), relacionado al complejo El Norte, periférico al plutón y desarrollado en Berracos-Baconao, aunque directamente este se refiere a la inclusión de rocas plagiograníticas y no está referida la aparición de cuarzo en vetas.

Durante este trabajo en el sector de La Gran Piedra se descubrieron 55 nuevas manifestaciones minerales y 209 nuevos puntos de mineralización fundamentalmente de cobre, hierro, barita oro y plomo. Además, se localizaron 135 zonas de alteración hidrotermal en las rocas en muchos casos cercanas a las anomalías geoquímicas detectadas durante los trabajos del Levantamiento Geológico.

## **MATERIALES Y METODOS.**

Es comunmente aceptado por los geólogos que han trabajado en la región que las secuencias cretácicas presentes en ella no son más que bloques relictos del basamento cretácico que flotan dentro de las secuencias volcánicas del paleógeno, pero tampoco se ha tenido suficientemente en cuentas la contribución que el análisis de las estructuras vulcano - tectónicas podría significar para la comprensión de la estratigrafía del área. El corte estratigráfico del sector está incluido dentro de lo que se conoce, según E.Linares 1986, como Zona Maniabón-Nipe-Sierra Maestra, Subzona Sierra Maestra.

El inicio del desarrollo de la Sierra Maestra se vincula con el Subgrupo Inferior del Grupo El Cobre, petrológicamente basáltoide. La Fm. Cobre se forma sobre esa superficie volcánica basáltoide. El ambiente de arco de islas quede bien mostrado en la asociación existente entre los paquetes fliohoides efusivo-sedimentarios y el vulcanismo más ácido. Al parecer el corte de la Fm. Caney indica un ritmo más reducido que empieza también con un vulcanismo ácido-medio y que presenta de manera mucho más subordinada la presencia del vulcanismo ácido pero muy marcadamente una amplia manifestacion de la mineralización manganífera.

Es criterio de la mayoría de los autores que han investigado la Sierra Maestra que sus rocas intrusivas y volcánicas se encuentran paragenéticamente vinculadas, formando una asociación plútono-volcánica con todas las fases que la caracterizan. Se considera asimismo que el magma originario que la generó fue tholeítico-basáltico. En la región, las secuencias intrusivas conforman un cuerpo plutónico irregular cuya parte central de



dirección NO-SE tiene forma anticlinal, que se extiende a lo largo de la costa sur oriental del sector por cerca de 30 Km. o más con un ancho que puede ser localizado en superficie entre los 6.0 y 9.0 Km, según datos geofísicos. En la periferia del macizo Daiquirí se observan toda una serie de pequeños cuerpos satélites cuyas partes apicales afloran entre las secuencias efusivo-sedimentarias y volcánicas. El cuerpo intrusivo está constituido en su mayor parte por rocas ácidas tonalítico-plagiograníticas, con una edad en su conjunto que se considera perteneciente al Eoceno Medio. Por su compleja constitución interna se encuentran de forma subordinada rocas de composición medio-básicas gabro-dioríticas. Los contactos nortes del intrusivo son según datos geofísicos de carácter subvertical mientras que los sureños se extienden más allá de la faja costera. La presencia de xenolitos de las rocas encajantes y bloques flotantes de ellas sobre el complejo techo del intrusivo, indican un no muy alto nivel de erosión. R.Rodríguez 1988 dividió el conjunto de las rocas intrusivas en dos complejos: temprano; El Norte y tardío; Daiquirí.

El complejo El Norte constituye la periferia del macizo, mientras que el complejo Daiquirí constituye su mayor parte. El primero está representado por rocas de la asociación gabro-diorítico-plagiogranítica y el segundo por rocas de la asociación tonalito-plagiogranítica de las series sódica y sódico-potásica respectivamente. Ambos complejos fueron subdivididos en cuatro distintas fases. Al parecer la mineralización a que nos referimos puede estar vinculada con este complejo El Norte.

Como ya expresamos G. Kuzovkov 1988. describió de forma global los complejos vulcanógenos no estratificados vinculándolos paragenéticamente con las secuencias estratigráficas, de esa manera enlazó al subgrupo inferior del grupo El Cobre al complejo basáltico de la misma edad y a la formación Cobre con el complejo riodacítico.

Los mayores valores de la susceptibilidad magnética de las rocas lo poseen las rocas del complejo básico y las rocas intrusivas que al mismo tiempo son las rocas de mayor peso específico; de modo alterno, las rocas del complejo riodacítico son las más radioactivas de todas las secuencias producto de su composición más ácida, esto provoca que puedan ser exitosamente cartografiadas mediante sus contenidos de potasio. Los contenidos de K en el sector Las Vetas es bajo, del orden del fondo de la región, alrededor de 1-1.5 %. El contenido de K en las rocas aumenta hacia la zona de Noranda, en cuyo flanco NE los contenidos alcanzan el orden de los 3.0 %, en correspondencia con la aparición de las riodacitas. La potente anomalía de K que se observa hacia el NNW de Las Vetas-Noranda y que puede alcanzar valores máximos de hasta 4.5-5%, se relaciona con el desarrollo de las lavas riolito-riodacíticas. Los contenidos de potasio en el sector La Cantera alcanzan los 3.5%.

La zonalidad metalogenética de la región de La Gran Piedra al igual que la del resto de la estructura Sierra Maestra puede explicarse a través del esquema general propuesto por R. Sánchez Cruz, et al.1984 y que relaciona los depósitos minerales de Hierro a la franja S costera de la estructura, los depósitos de Cu y Cu-Mo asociados al agrietamiento de los intrusivos en esa misma faja fundamentalmente y que, siempre en dirección S-N vincula los depósitos de sulfuros y preciosos a la faja de articulación norteña a los plutones donde



es más fuerte el desarrollo de las secuencias volcánicas, dejando, en la misma dirección N la última franja para el desarrollo de los depósitos de manganeso, vistos como las partes más apicales de los yacimientos de sulfuros y potenciando las inmediaciones más profundas de ellos para la prospección de esos minerales. Basado en esa zonación metalogenética, G. Kuzovkov et al. 1988, planteó las características específicas de ella en la región de La Gran Piedra, donde puede observarse la región de Sigua en el límite E de la franja ferrosa sureña, ocupando por su posición el extremo más oriental de la estructura Sierra Maestra aflorada.

La región de la Gran Piedra es históricamente una zona rica en la aparición de diferentes minerales, por lo cuál en ella se han realizado un conjunto de investigaciones geológicas para la evaluación de esos recursos. Los recursos minerales históricamente evaluados en el área se relacionan principalmente con los Campos Minerales de el Hierro-Santiago y Cristo-Ponupo-Sultana, algo más al norte. El primero como su nombre lo indica relacionado con menas de Skarn Magnetítico y el segundo con menas de Manganeso.

En el sector Sigua se realizaron trabajos de prospección entre los años 1986-87 los que incluyeron principalmente trabajos geoquímicos y de polarización inducida. Debe destacarse que en ningún caso existe relación entre el sector Sigua declarado como área de búsquedas en los trabajos de G. Kuzovkov et.al. 1988 y el área de La Cantera dónde la AEI. CaribGold Mines Inc-Geominera S.A. (R. Sánchez Cruz et al. 1997) realizó sus investigaciones. Ver Figura 1.



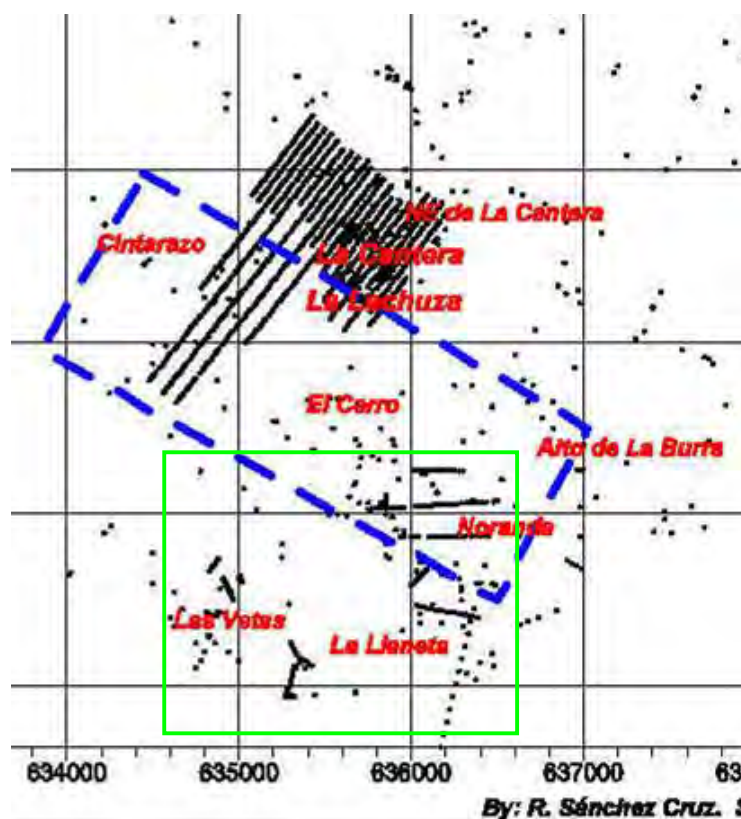


Figura 1. Mapa de Muestreo de afloramientos en los alrededores del sector Sigua (R. Sánchez Cruz et al, 1997), con la localización del sector de prospección 1: 50000 de G. Kuzovkov et al. 1988 (azul) y el sector Las Vetas-Noranda (verde).

El sector de La Cantera se encuentra a escasos 500m al N del límite N del sector descrito como Sigua (G. Kuzovkov et al. 1988). El descubrimiento del pequeño depósito de oro de La Cantera, que incluye dentro de sí el sector NE de Sigua (R. Sánchez Cruz et al 1997) le ha dado relevancia al sector y por extensión se circunscribe toda alusión a la región y/o a la mineralización en Sigua a dicho depósito y/o tipo de mineralización. Sin embargo es objetivo de este trabajo el descubrimiento, no menos importante, que significa el establecimiento de otro tipo de mineralización, el vinculado a la aparición de vetas cuarzo-auríferas.

En Sigua las rocas más extendidas son las tobas y lavas de composición riodacítica (riolítica), desde ignimbritas hasta porfiritas de la formación Gran Piedra. Subordinadamente se desarrollan las tobas y lavas andesíticas y basálticas; mucho más limitadamente se hallan las tobas de la Fm. La Linner. Los plagiogranitos más hacia el sur marcan el contacto con el intrusivo Daiquirí. Hacia el NE de Sigua finalmente se han encontrado pequeños cuerpos satélites de dioritas y dioritas de aspecto porfídico que no habían sido cartografiados anteriormente. Todas las secuencias presentan en mayor o menor medida fuertes cambios hidrotermales hasta la etapa argílica avanzada.



En general además de los sectores La Cantera y NE de Sigua, se localizan en el área otros prospectos interesantes: Las Vetas-Noranda, Cintarazo-Pozo Viejo, Alto de La Burra, N de Berraco etc. El sector La Lechuza por comodidad se incluyó dentro del área de La Cantera, (Figura 6).

### **Metodología de los Trabajos.**

Se seleccionaron grupos de puntos de mineralización cercanos que pudieran vincularse a una situación geológica parecida. Luego de la localización del punto(s) de interés en el terreno, se realizaron itinerarios de revisión y muestreo y si los resultados lo ameritaban, se realizan itinerarios complementarios para aumentar la densidad del muestreo, y obtener ideas adicionales sobre la estructura geológica. Además se realizó la revisión de anomalías geoquímicas y zonas de alteración, el completamiento de la información en la zona del detallamiento en las redes 100x20 m. y 50x20 m. en La Cantera/Sigua y la verificación terrestre de las anomalías detectadas a partir de los resultados del vuelo aerogeofísico complejo.

## **RESULTADOS**

### **Generalidades**

En el citado sector de La Cantera-Sigua, se detectaron valores del contenido de oro de hasta 42 g/ton. ( con contenidos huracanados de hasta 90.0 g/ton de Au y 4480 g/ton de Ag ) los que en general continúan siendo anómalos con hasta 1-2 g/ton. en una dirección N20°W por más de 100m. En particular, pese a la inexistencia de documentación al respecto, La Cantera constituyó un pequeño yacimiento, según se detecta de restos de laboreos mineros antiguos y de objetos y partes de piezas utilizadas en la explotación minera, de mayólica de edad diversa, de restos de hornos de cocción de cerámica refractaria cocida artesanalmente y fundamentos de plataformas que pudieron sustentar los elementos del taller de selección y enriquecimiento manual del mineral, que según las investigaciones pudo ser plata. La edad posible de la explotación parece ser los inicios de siglo XIX.

El sector de La Cantera incluye además la zona de los alrededores del antiguo pozo SG-1 realizado entre 1983-1988. Allí se localizaron además 5 laboreos mineros antiguos y una anomalía EM. en la interpretación preliminar de los datos aéreos de Scintrex-Caribe que se encuentra en las cercanías del último de los laboreos encontrados.

El sector NE de La Cantera/Sigua está enmarcado dentro del área Sigua que tiene más de 20 km<sup>2</sup> de área y su zona más perspectiva parece alcanzar 2-3 km<sup>2</sup> en los alrededores de La Cantera.

Lamentablemente, los resultados obtenidos de las perforaciones realizadas no han mostrado hasta el presente una continuación de los contenidos minerales en profundidad lo que le resta perspectiva al sector. Las zonas interesantes de alteración con mineralización diseminada de sulfuros están vacías y la pirita no se corresponde con al parecer ningún otro estadio de mineralización.





A partir de la interpretación de los datos del vuelo aerogeofísico se encontró en el NE de Sigua un sector interesante que se enmarca aproximadamente entre las coordenadas X1: 637000; Y1: 142000, X2: 639000; Y2: 145000. En el plano regional este sector se encuentra hacia el ESE de Chálía y en el NE de Sigua, en él pueden observarse anomalías magnéticas positivas de baja a mediana intensidad, que pueden interpretarse como una anomalía circular positiva rodeando un centro menos magnético. Esta distribución circular apreciable en el mapa magnético es menos destacada en los mapas EM. de las frecuencias 4000 y 890 Hz. dónde las anomalías tienen una dirección marcadamente sublatitudinal, con azimut de 310°.

En esta misma región pero hacia el SW, en el punto de coordenadas X: 638 000; Y: 143 000 y con azimut 300° - 310° aparecen dos anomalías EM alargadas localizadas en el contacto entre las tobas aglomeráticas de composición riódacítica y las lavas de la misma composición. En sus inmediaciones se observaron vetas de cuarzitas hematizadas con baritina, calcopirita y pirita: al parecer las anomalías descritas tienen relación con las estructuras y zonas de fallas controladoras de la mineralización de la parte ESE del sector Chálía, con abundante baritina y presencia de contenidos de oro de hasta 2.5 g/ton.

Las menas auríferas del sector de La Cantera-Sigua están representadas por una mineralización de anglesita-cerusita, las rocas de cambio están fuertemente silicificadas y oxidadas llegando a ser ocres de intenso color amarillo-naranja, típicos de los óxidos de plomo. Las zonas mineralizadas pueden tener entre 1-2 m. de potencia visible y se extienden por el azimut 330°- 340°. El cuerpo mineral es de color blanco, de alto peso específico y contiene barita y anglesita en mayor cantidad y cerusita en cantidad subordinada. Acompañando esta mineralización aurífera de hasta 9.0 g/T aparece una mineralización de Pb de hasta 20% de contenido. La fracción pesada de una muestra tomada de la mineralización en la clase de 0.25 mm presenta 58% de barita, y 36% de anglesita; en la fracción electromagnética las cantidades fueron de: anglesita 60% y barita 15%, (R. Sánchez Cruz et al. 1997). En las zonas paralelas que se encuentran al sur de La Cantera predominan la baritina y las zonas de silicificación con sulfuros diseminados, principalmente pirita y calcopirita; subordinadamente anglesita.

#### **Sector "Las Vetas-Noranda".**

Primero que todo debe señalarse que el nombre de ambos sectores no tiene relación alguna con los nombres de las localidades geográficas en cuestión. El sector con nombre "oficial" más cercano, que es conocido por la población de los alrededores, es el Alto de La Burra. La denominación de los sectores Las Vetas y Noranda fueron dados por los autores durante los trabajos de campo a ambas localidades, el primero: por aparecer vetas de cuarzo, y paradójicamente al segundo, donde aparecen las mayores vetas, se le llamó Noranda pues en un punto cercano a dichas vetas aparece una fuerte mineralización de cobre dentro de un skarn aparentemente granático que un geólogo comparó con la mineralización presente en Noranda.



El sector que nos ocupa se halla entre los 1500m – 2000m inmediatamente al S entre La Cantera y la elevación Cintarazo, aflorando los plagiogranitos de Daiquiri entre secuencias de lavas riolito-riodacíticas y tobas de igual composición. Inmediatamente al N de esa área aparecen rocas de composición más básica, andesito-basáltica de la Fm Vinent, en cuyo contacto con los intrusivos se detectan fuertes potencias de skarnes, de hierro, cuyas menas hematito-magnetíticas han sido explotadas, quedando restos de laboreos mineros antiguos y gran cantidad de escombros, residuos de la explotación diseminados por toda el área. La presencia de mineralización de hierro provoca un enrojecimiento general del suelo en los alrededores de estas zonas.



Figura 2. Esquema Geológico con los Puntos de Mineralización de Oro del sector Las Vetas. En amarillo los puntos mineralizados con contenidos de oro mayores a 1.0 g/T; en azul contenidos del orden de las centenas de ppb.

Las vetas y vetillas auríferas descubiertas, (Figuras 2 y 3) hasta el estado actual de la investigación, no siguen un patrón de rumbo definido, lo que a priori puede relacionarlas con el agrietamiento intrusivo y removilización magmática, más que con efectos volcánicos más tardíos. Hacia el sur del sector, Las Vetas, en contacto con las rocas plutónicas aparecen calizas del neógeno de la Fm. Maya y algunas calizas grises datadas como de edad Cretácica (Figura 1). Desde el alto de La Burra hacia el sector Noranda,

PRIMERA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2005.  
Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.



pueden ser observadas además otras vetas y vetillas de cuarzo y zonas de alteración, esta vez relacionadas con las rocas de composición riolito-riodacíticas de distinta potencia así como zonas de mineralización de cobre, fundamentalmente malaquita, dentro de rocas por partes fuertemente skarnitizadas, (Figura 3). La mayoría de estas vetas y vetillas presentan contenidos anómalos de oro de hasta 1.0g/T, generalmente entre las primeras centenas de ppb.



Figura 3. Esquema de Interpretación con los puntos de mineralización aurífera en las vetas del sector Noranda. En azul claro contenidos de oro de las primeras centenas de ppb.

La mayor parte de estas vetas y vetillas se relacionan geomorfológicamente con partes mas resistentes del terreno y se señalan por pequeñas anomalías positivas del relieve del orden de los primeros metros. En algunas de estas anomalías afloran las riolitas y las tobas de esa composición, fuertemente alteradas en forma de fragmentos y relictos alterados. En el interespacio entre dichas anomalías del relieve, generalmente marcadas por un suelo de coloración rojo pueden ser seguidas las zonas de alteración, silicificadas y cuarcificadas con intensa piritización o relictos de ella, cuando quedan restos de la fábrica silicificada de la matriz de la roca con infinidad de vesículas vacías, donde una vez estuvieron los sulfuros. Aunque no son abundantes otros sulfuros además de la pirita, estos también pueden ser observados y generalmente aparecen como minerales secundarios, malaquita principalmente. Fueron observados la galena, la escalerita y la calcopirita. Las dendritas de manganeso están presentes en casi todos los afloramientos



de silicitas. Las alteraciones más comunes en los alrededores de las zonas de silicificación-cuarcificación son la hematización y la limonización.

La semejanza de la mineralización de cuarzo, generalmente cortante y entrecruzada con los plagiogranitos, mayoritariamente en el sector de Las Vetas y volcánicos, que mayorean en el sector Noranda, puede hacernos pensar en su relación con el llamado segundo complejo magmático en la zona (R.Rodríguez, 1988), relacionado al complejo El Norte, periférico al plutón y desarrollado en Berracos-Baconao, aunque directamente este se refiere a la inclusión de rocas plagiograníticas y no está referida la aparición de cuarzo en vetas.

De carácter interesante puede ser señalado el hecho de que los alrededores de Noranda ocupan una posición algo más elevada que su centro de gravedad, ocupado por una zona muy llana, cubierta por un suelo muy rojo, bautizada por los autores como "La Llaneta" lo que le brinda un aspecto de cráter de derrumbe característico, algo aún no demostrado.

La manifestación más importante de esta mineralización de cuarzo con oro en Noranda, está representada por una veta que en el punto 635300, 140375 presenta una potencia de 15-25m, (Figura 2), sobresaliendo sobre la superficie del suelo hasta 2.0m de altura. La veta puede ser seguida por el Az 330° por unos 600m de largo.

El cuarzo de color blanco y con oxidación en sus planos de fractura y algunos sulfuros visibles, principalmente pirita, posee contenidos de oro en ese punto de 60-70ppb y alcanza en otra veta subparalela, hacia el SW a la descrita, contenidos de oro de hasta 385ppb. La primera zona apunta por el azimuth a la mineralización detectada en el arroyo de La Lechuza al S de La Cantera y atraviesa una anomalía de PI de 4.0% de cargabilidad, sobre la cota de la elevación más meridional.

La segunda veta hacia el SW de la primera, es de dimensiones más modestas por la longitud, alrededor de 400m, pero algo más potente. Observaciones macroscópicas y de correlación a priori hicieron pensar que en la medida que el cuarzo aparezca más "limpio", más hialino o lechoso, es menor la probabilidad de que contenga oro. Las muestras donde el cuarzo aparece fragmentado y con oxidación dentro de sus planos de agrietamiento y/o fractura o donde se observan posiblemente varias generaciones de cuarzo conviviendo en la misma muestra, tienen una alta probabilidad de contener contenidos industriales apreciables de oro.

Los trabajos de revisión, incompletos, incluyeron la realización de tres perfiles de muestreo (Figura 2), con paso de 20m que no estudian a plenitud la mineralización de cuarzo por cuanto el modelo perseguido era el muestreo de zonas de alteración más vinculadas a yacimientos del tipo epitermal que a depósitos del tipo de vetas ya que el objetivo no era la veta en sí sino su medio circundante, por lo que el muestreo no se hizo sistemático a lo largo de la veta sino que, ver el esquema al respecto, el muestreo se limitó a analizar las vetas solo en los lugares en que correspondía por el trazado topográfico la estaca correspondiente; así y todo los perfiles más septentrionales arrojaron contenidos anómalos de hasta 340 ppb en afloramientos aislados por lo que de una u otra forma todas las zonas de cuarcificación muestreadas arrojaron contenidos apreciables de oro.





La distancia entre las dos zonas principales descritas, Las Vetas y Noranda, es de alrededor de 1Km y no parecen estar relacionadas entre sí, primero por la distinta dirección de las vetas y vetillas en las mismas. segundo por sus rasgos externos y tercero por las rocas de caja en ambos sectores. sin embargo ambas apuntan hacia la misma conclusión: la perspectividad del sector para la detección de vetas cuarzo-auríferas.

## DISCUSION

Un aspecto muy importante no puede soslayarse: sí ambos sistemas de vetas están relacionados entre sí por un origen común, ello solo puede deberse a la existencia de un evento volcánico tardío que emplazado en la periferia de ambos sectores haya suministrado soluciones hidrotermales cargadas con oro a las rocas existentes en uno y otro, provocando el agrietamiento de los plagiogranitos del complejo El Norte en el sector Las Vetas, donde se depositó el cuarzo y el reemplazamiento y relleno de poros en las tobas y porfiritas riodacíticas del sector Noranda, rellenándolo con el mismo mineral.

Otra explicación muy parecida puede sugerirse al asociar la mineralización con estadios finales en la inclusión de El Norte que hayan provocado el mismo efecto anteriormente descrito, dentro de las rocas del macizo intrusivo y sus vulcanitas circundantes.

En el sector Las Vetas, más hacia el sudoeste, se detectaron sistemas de vetas y vetillas con contenidos anómalos de hasta 9 g/ton. pero no se ha confirmado hasta el momento la relación de las vetas con otro tipo de sistema geotermal más profundo.

En este sistema de vetas en el extremo SW del sector en el sitio nombrado como Las Vetas, se descubrió mineralización de cobre en el punto BV-1 y se localizaron dos vetas de cuarzo aurífero con potencia máxima de hasta 2m. y con 650m. y 300m. de extensión respectivamente. La primera (SV-12) con contenido de 8990 ppb. y la segunda (SV-9) con 3250 ppb.

En general todas las vetas y vetillas del sector dieron resultados interesantes de oro del orden de las primeras centenas de ppb. En muchas también se encontró mineralización dispersa de pirita, calcopirita, esfalerita y galenita dentro de la masa de cuarzo.

Las vetas y zonas de alteración tienen una dirección predominantemente meridional y con sulfuros diseminados y/o malaquita y conforman al parecer un sistema de fallas de plumaje respecto a la fractura principal de Sigua.

En el sector se han localizado laboreos antiguos cerca de las zonas de alteración hidrotermal y sin relación con las antiguas canteras de explotación de las menas cuarzo-hematíticas también presentes en el área.

En la parte sureña en un pequeño valle intramontano (sector La Llaneta) bajo los sedimentos recientes, fundamentalmente zonas aluviales de riodacitas, se mapifican zonas fuertes de gossans que irrumpen entre la cobertura, dejando al descubierto grandes bloques muy silicificados y en muchos casos con sulfuros o cavidades oxidadas



y abiertas producto de la destrucción de ellos. Las rocas permanentemente son las secuencias riodacíticas.

En la región SW del sector afloran además las rocas plagioriodacíticas con inclusiones de vetas de cuarzo de hasta 30-80-100 cm. de potencia y con algunos valores interesantes de los contenidos de oro. Los valores más interesantes del contenido de oro en esta región cubierta alcanzan las primeras centenas de ppb.

Pese las fuertes zonas de alteración, rodeadas por suelos limoníticos de color rojo intenso, los resultados no han sido en modo alguno relevantes y los resultados del vuelo aerogeofísico, quizás producto de la escala, no muestran una dirección en profundidad de las zonas de alteración que esporádicamente afloran. Esta falta de dirección definida, podría conjugarse con el hecho ya mencionado de la posible existencia de un antiguo cráter en la región lo que le daría un aspecto más cercano al entrecruzamiento de vetillas presente en una mineralización de stockwork que a el alineamiento generalmente esperado de sistemas de vetas y vetillas vinculados a la tectónica.

En uno de los extremos de estos relictos silicificados, y no el mejor, se realizó el raspado 17. Sólo en el extremo más oriental de este se logró un valor interesante del contenido de oro en el afloramiento menos intemperizado. Las fuertes potencias de riolitas ignimbríticas que flanquean el oriente de esta depresión, (caldera ? ), los numerosos puntos de silicificación con mineralización sulfurosa y malaquita, y los sistemas de vetas y vetillas de cuarzo presentes en el lugar apuntan hacia la necesidad de la continuación de los trabajos geológicos que con mucho no cumplen los requisitos básicos para descartar la perspectiva del lugar. Todos estos elementos potencian la perspectiva del sector Las Vetas-Noranda.

Durante los trabajos realizados entre los años 1983-1987 se detectaron en la parte surcentral del sector de Sigua, al norte y noroeste de la depresión mencionada, fundamentalmente coincidentes con una elevación de mediana altura, anomalías del método de polarización inducida (PI.) de hasta 4 % sobre un fondo estimado de 1.5% de polarizabilidad, que no fueron comprobadas con perforación. En los itinerarios de reconocimiento se pudo descubrir en la matriz de las rocas riolíticas silicificadas diseminaciones apreciables de piritita de hasta un 15% las que no dieron valores interesantes de oro. Sin embargo queda explicada la anomalía de polarizabilidad. Las rocas piritizadas aparecen como un casquete sobre el resto de las secuencias riodacíticas y no se pudo comprobar si debajo de ellas yacen tobas que pudieran esconder la parte apical de un canal mineralizado que podría enlazar los sectores de alteración cartografiados con la anomalía de cargabilidad extendida desde el pozo CG-9, pasando por La Cantera, La Lechuza, atravesando la anomalía de 4% de polarizabilidad citada a inicios del párrafo y las zonas de silicificación-cuarcificación en Noranda, de ahí la importancia de su correlación con la mineralización en vetas Las Vetas-Noranda. Lo cierto es que el cerro de marras ocupa un lugar privilegiado entre la depresión anteriormente descrita y el sector de La Cantera dónde se detectaron los contenidos mayores de oro de la región y que como incentivo adicional, presenta en su flanco E los puntos mineralizados de el Alto de La Burra y en su flanco W los del Pozo Viejo y





Cintarazo. Esta elevación, El Cerro (cúpula volcánica ?...) podría representar sin duda un papel esencial en la comprensión de la geología del área.

En un análisis más detallado puede observarse hacia el ENE del cerro, directamente en contacto con el sector de La Cantera como las zonas de alteración mineralizadas causantes de la anomalía de PI ( B ) de más de 1 Km. de largo y más de 20 mV/V de cargabilidad se hunden bajo las secuencias volcánicas de la mencionada elevación a lo largo de un arroyo mineralizado con sulfuros que forman vetillas de calcopirita de hasta 2.00 cm. de espesor y en cuyas inmediaciones se pueden apreciar los restos de antiguos laboreos mineros. El pozo Sigua 1 ( SG-1. G.Kuzovkov et.al. 1988 ) se ubica a escasos 75 m. del arroyo citado. Este sector privilegiado se conoce por los pobladores como La Lechuza.

El pozo SG-1 según G. Kuzovkov et al. 1987 corto dos intervalos de rocas alteradas que aparentemente son las mismas que trataron de ser cortadas por la galería derrumbada de dirección N en la orilla del arroyo y en con el pozo de mina, ahora ciego e inundado a escasos 20 m. de este. El arroyo de La Lechuza se acoda en dirección sublatitudinal al encontrarse con la pared N de la elevación citada y las zonas alteradas desaparecen bajo las secuencias de riolacitas, lo que podría presuponer su continuidad por debajo de esa posible cúpula volcánica, otro punto a favor de la vinculación magmática entre los sectores mencionados.

Este arroyo que limita al NE el cerro de la anomalía de PI y en los alrededores del pozo SG-1 en La Lechuza, el sistema de vetas y vetillas mineralizadas con pirita y calcopirita y algunos sulfuros secundarios y malaquita, en forma de stockwork se alinean en la dirección cuasiparalela a las zonas de alteración cartografiadas en La Cantera/Sigua y a escasos 400m. de allí. Subiendo hasta coronar el firme que contiene la zona de alteración del pozo SG-1 se detectaron zonas de vetas de baritina que en muchos casos contienen mineralización de sulfuros primarios, fundamentalmente pirita y calcopirita. Los surcos A1 y A2 se realizaron en la zona descrita a lo largo del arroyo que limita el flanco sureño del pozo SG-1 : sólo dos intervalos dieron contenidos apreciables de oro con máximo de 2 g/ton.

Cabe señalar que los contenidos medios bajos detectados en las vetas del Sector Noranda no son en nada desalentadores por:

- La insuficiencia del muestreo realizado (carencia de raspados y limpiezas de afloramientos).
- La inexistencia de trabajos geofísicos por el estadio también conspira contra la mejor evaluación a priori del área.
- La potencia y longitud de los objetos geológicos detectados.
- No se han comprobado en ningún caso con geofísica ni perforación los intervalos ocultos y posibles interrelaciones entre los afloramientos de rocas silicificadas y cuarcificadas.

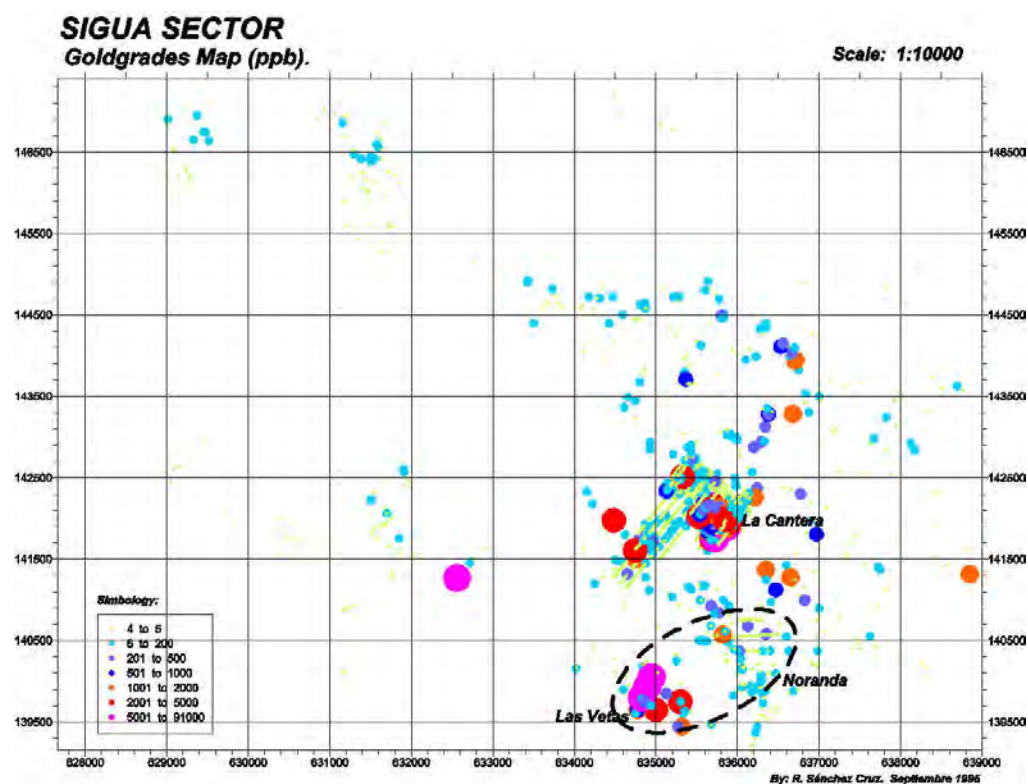


Sin embargo y a priori, optamos por la diferente génesis de ambos grupos de vetas, basados fundamentalmente en sus características geoquímicas las que pueden reducirse a los diferentes contenidos globales de los elementos macros principales. Si analizamos en los mapas de los contenidos de los minerales preciosos presentes, oro y plata, el comportamiento de las anomalías en los sectores mencionados, nos llamará poderosamente la atención la importancia que el sector de la nueva mineralización de vetas y vetillas descrita, Las Vetas-Noranda, representa dentro del sector de evaluación regional Sigua.

En la figura 4 se observan, al S de La Cantera, una potente anomalía de oro, fundamentalmente en el sector Las Vetas. Contenidos tan elevados como los allí detectados solo fueron encontrados en La Cantera propiamente, donde se detectó un contenido máximo de 90 g/T y en el Norte de Berracos, al NW de Las Vetas, con contenidos de más de 7.0 g/T. Por lo tanto pese a las relativamente modestas dimensiones de los objetos geológicos encontrados, léase vetas, sus contenidos las hacen blancos deseables como objetivos de prospección inmediata.

Las anomalías de Ag, sin embargo muestran un cuadro diametralmente diferente: las mayores en la zona se concentran en el sector Noranda en detrimento del sector Las Vetas. El sector Noranda presenta resultados de contenidos de plata del orden de 5-10 g/T generalmente con una muestra con contenido mayor a 10 g/T.

En el sector Las Vetas la generalidad de los resultados alcanza valores máximos entre 5-10g/T, pero en mayor cuantía se observan resultados entre 2-5 g/T. Estos resultados indican una clara diferenciación entre las soluciones hidrotermales mineralizantes que posiblemente provinieron de distintos pulsos mineralizadores: los unos cargados de oro y más pobres en plata, los otros de manera contraria. Tampoco puede descartarse el influjo que la profundidad del enfriamiento de las soluciones pudo jugar en esta segregación, si la hubo. Hasta el presente los datos son pocos y muchas las conjeturas.



**Figura 4.** Mapa de los Contenidos de Oro del Sector Las Vetas-Noranda.

Podríamos concluir la falsa idea de que el sector Sigua en su totalidad es mucho más argentífero que aurífero, lo que sucede es que aparecen un poco más equidistribuidos pequeños contenidos de plata que de oro, sobremanera deformados por la representación areal de los resultados.

El comportamiento de los contenidos de plomo (Pb) en dichos sectores es importante por el papel primordial que juega dentro de las menas de La Cantera, donde contenidos de 20% fueron detectados en los minerales de anglesita.

La diferenciación en los contenidos de oro y plata entre las vetas y vetillas presentes en Las Vetas y en Noranda es extensible a los contenidos de plomo, como puede ser observado en los mapas. Las vetas de Noranda poseen menores contenidos de ese elemento que las vetillas en Las Vetas, sin embargo la mineralización detectada en las inmediaciones del Alto de La Burra, presenta mucho mayor contenido de ese elemento. Debemos señalar que contrariamente a lo que podría esperarse, en el Alto de La Burra no fue encontrada la mineralización de anglesita, sino galenita entre los sulfuros dispersos en la tobas y lavas riódacíticas. Resultados semejantes aparecen en el flanco E de El Cerro, hacia el Alto de La Burra. La relación entrambos sectores: El Cerro y El Alto de La Burra se materializa mediante una anomalía de Polarización Inducida de 2% de cargabilidad que bien pudiera estar cartografiando alguna mineralización más profunda.



Análisis parecidos en cuanto a la diferenciación entre la mineralización de cuarzo aurífera dentro del sector Las Vetas-Noranda, puede ser realizada con los mapas de contenidos de los elementos Bario, Cobre, Cinc y otros. Los resultados de los macroelementos principales se tabulan cualitativamente a continuación para que se obtenga una sucinta idea del problema. Asimismo se muestran tabulados los razgos morfológicos principales de ambos sistemas de vetas y vetillas.

Tabla I. Analisis cualitativo del comportamiento de los macroelementos en los sectores Las Vetas y Noranda.

Elemento Químico	Sector Las Vetas	Sector Noranda
Oro (Au)	Mayores contenidos	Menores contenidos
Plata (Ag)	Menores contenidos	Mayores contenidos
Plomo (Pb)	Mayores contenidos	Menores contenidos
Cinc (Zn)	Menores contenidos	Mayores contenidos
Cobre (Cu)	Mayores contenidos	Menores contenidos
Bario (Ba)	Mayores contenidos	Menores contenidos

La morfología de ambos sistemas de vetas también apunta hacia sus diferentes génesis:

Tabla II. Razgos morfológicos principales del sistema de vetas y vetillas presentes en los sectores Las Vetas y Noranda.

Razgos Morfológicos	Sector Las Vetas	Sector Noranda
Espesor/Longitud	Menor	Mayor
Longitud	Semejantes	Semejantes
Espesor Máxima	1.0 - 2.0 m	15.0 – 25.0 m
Dirección Principal	N30°W	N30°W
Buzamiento	70° - 85°	50° - 55°
Contenidos Máximos Au	8.99 g/T	0.385 g/T
Rocas de Caja	Plagiogranitos	Tobas Riodacíticas
Abundancia de Vetillas	Mayor	Casi Nula

La importancia del descubrimiento de estas vetas auríferas, durante los trabajos de reconocimiento regional, viene condicionada por el hecho de que lo aislado del sector y su dificultad de acceso hacen que resulte muy posible la existencia de otras vetas y/o sistemas de vetillas en la región, casi inexplorada con estos fines. Asimismo el descubrimiento condiciona la región para otro tipo de mineralización aumentando su perspectiva a razón de la diversidad de la mineralización.

El sector de la Gran Piedra, fundamentalmente la periferia del plutón Daiquirí y de las vulcanitas riodacíticas es muy perspectivo para la aparición de mineralización aurífera: terreno volcánico con amplio desarrollo de rocas efusivas de composición medio-ácida y ácida, riodacitas y riolitas que forman aparatos volcánicos que pueden ser seguidos por su morfología con el mapeo regional de sus facies de cráter y cercanas a él;



amplio desarrollo de las secuencias efusivo-sedimentarias con granulometría adecuada para la acumulación de sustancias minerales de interés económico: presencia de tobas soldadas (ignimbritas) de composición riodacítica, xenotobas etc.; gran desarrollo de zonas de alteraciones hidrotermales en las cercanías de los aparatos volcánicos hasta la fase argílica avanzada; aparición de sistemas de vetas y vetillas con mineralización aurífera. (interés de este trabajo); presencia de oro en los lavados de los sedimentos fluviales; amplias zonas de anomalías geoquímicas de las rocas primarias de elementos indicadores de la mineralización aurífera; decenas de puntos dónde se habían reportado distintos tipos de minerales de interés que en algunos casos pueden alcanzar el rango de pequeños depósitos; existencia de huellas de una minería del oro y/o plata pese a la escasísima documentación al respecto; existencia de pequeñas anomalías hidroquímicas de plata en algunas de las muestras tomadas en manantiales de la región; fuertes potencias de skarn cortadas en pozos de perforación durante la prospección en la región de menas de hierro magnetítico sin análisis de los contenidos de oro y que en forma de casi continua bordean el exocontacto del intrusivo Daiquirí; carencia durante las investigaciones anteriores de la utilización de modelos de yacimientos epitermales de skarn aurífero y del modelo de depósitos de vetas auríferas; total ausencia de análisis de contenidos de oro confiables, antes de 1994, en las muestras que fueron tomadas durante los estadíos anteriores de levantamiento geológico 1: 50000 y la prospección de menas ferrosas, insuficiencia parcialmente salvada con la realización de cientos de análisis de ICP y fire assays en la región (R. Sánchez Cruz, P. Ferro, J.A. Bárzana, 1997); comprobación de la existencia de contenidos industriales de minerales preciosos cuyos valores máximos comprobados por los autores son: oro - 90.0 g/ton y plata - 448 g/ton., asociados a zonas de alteración, vetas de cuarzo y skarn en distintos ambientes geológicos; descubrimiento de 55 nuevas manifestaciones minerales y 209 nuevos puntos de mineralización fundamentalmente de cobre, hierro, barita oro y plomo. Además, localizaron 135 zonas de alteración hidrotermal y, apartir de la experiencia obtenida durante las investigaciones en la Sierra Maestra, la importancia que tienen las zonas de debilidades magnéticas dónde los fluídos hidrotermales han desmagnetizado las rocas de caja de la mineralización.

### Evaluacion economica

El carácter especial del descubrimiento de la mineralización de vetas auríferas en el sector Las Vetas-Noranda potencia de manera determinante las riquezas minerales del sector más oriental de la Sierra Maestra. Un análisis a priori de la cantidad de recursos disponibles en el sector mencionado presupone los siguientes parámetros:

Tabla III. Principales características de las vetas de los sectores "Las Vetas" y "Noranda".

Parámetros de las Vetas	SECTOR LAS VETAS	SECTOR NORANDA
Cantidad de vetas principales	2	2
Cantidad de vetas secundarias	2	No
Longitud Principal	0.5 Km + 0.4 Km= 0.9 Km	0.6 Km + 0.5 Km=0.11 Km
Longitud Subordinada	0.3 Km + 0.2 Km= 0.5 Km	



Potencia Media Principal	1.0 m	15.0 m
Potencia Media Subordinada	0.4 m	No
Contenido Medio Principal	2.0 g/T	0.35 g/T
Contenido Medio Subordinado	0.3 g/T	No

El cálculo del volumen de menas se realizó hasta los primeros 50m de profundidad, para una extracción a cielo abierto, asimismo se consideró un buzamiento de 90° de la mineralización.

Tabla IV. Cálculo de los recursos minerales de los sectores "Las Vetas" y "Noranda".

Parámetros Evaluados	Sector LAS VETAS	Sector NORANDA
Volumen de las Vetas Principales.	45000 m <sup>3</sup>	825000 m <sup>3</sup>
Volumen de las Vetas Subordinadas.	6000 m <sup>3</sup>	—
Toneladas de Cuarzo en las vetas principales.	117000 T	2145000 T
Toneladas de Cuarzo en las vetas secundarias.	15600 T	—
Recursos de Oro en las Vetas Principales.	234000 g = 234 Kg	750750 = 750.75 Kg 975.975 Kg (valor corregido)
Recursos de Oro en las Vetas Subordinadas.	4680 g = 4.68 Kg	—
<b>Recursos Totales</b>	<b>1214.66 Kg = 37958 onzas</b>	

## CONCLUSIONES.

1. En los Sectores "Las Vetas" y "Noranda" fue **descubierta la mineralización aurífera en vetas de cuarzo**, un tipo de mineralización diferente al hasta ahora reportado en la región de Sigua y a la conocida en el sector de La Cantera.
2. Lo apartado del sector "Las Vetas-Noranda", su bajo grado de conocimiento geológico y los muy interesantes contenidos de metales preciosos (oro y plata) encontrados en sus sistemas de vetas y vetillas **lo hacen un blanco muy deseable y perspectivo para la realización de trabajos de prospección geológica** para la evaluación completa de sus recursos minerales.





3. Los resultados obtenidos permiten calcular, bajo las condiciones expuestas, un volumen de recursos **de 37950 onzas de oro**. No se evaluó otro elemento ni otro tipo de mineralización.
4. El cálculo de estos recursos financieros en conjunto con los detectados en los sectores de La Cantera y NE de Sigua, amplían las posibilidades de **apertura de una pequeña mina en el sector**.
5. El descubrimiento de esta mineralización abre las perspectivas mineras de la región por cuanto indica que deben ser revisadas las áreas donde afloran los plagiogranitos del complejo El Norte con el fin de determinar la existencia de posibles nuevos sistemas de vetas y vetilla con oro.
6. Por último, se ha demostrado la perspectividad del sector Las Vetas-Noranda para al menos el tipo de mineralización aurífera, (no se descarta, sobre todo en Noranda la aparición de mineralización de metales base, cobre), lo que aumenta su valor intrínseco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Capote Marrero, C.; R. Sánchez Cruz; J.P. Lledías; M. Santa Cruz Pacheco; E.M. Escobar. 1992.** "Rasgos Estructurales en los Arcos de Islas de Cuba". In Geological Conference of Caribbean 13, Pinar del Río, Cuba. 1992. Abstracts.
- Casañas, X.; A. Peldiakov; R. Sánchez Cruz; M. Guerra; M. Pérez; M. Pardo; P. Stanek; E. González, 1989.** "Mineralización de tipo Skarn magnetítico en la Sierra Maestra". I Congreso Cubano de Geología y Geología del Caribe Occidental, La Habana, 1989.
- Casañas, X.; A. Peldiakov; E. Escobar; M. Guerra, et.al. 1990.** "Resultados del Tema 401-02. Evaluación de las Perspectivas de Mineralización de Skarn en el Campo Mineral Hierro –Santiago" IGP. La Habana 1990.
- Chang Bravo, J.L.; G. Grevnirov; A. Brodovoi. 1990,** "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las Provincias de Santiago de Cuba, Holguín, Gramma y Guantánamo, (Sector Pinares de Mayarí)". Archivo O.N.R.M. Inv. No. 3915. IGP. Inv. No. 60.
- Escobar Pérez, E.M.; R. Sánchez Cruz, 1983.** "Algunas Consideraciones sobre las perspectivas de Aparición de Mineralización Cuprífera en la Sierra Maestra". I Conferencia Científico Técnica de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1983.
- Escobar, E.M.; R. Sánchez Cruz. 1988.** "Zonación Gravi-magnética y Modelo Físico-Geológico profundo de la región de la Gran Piedra". III Conferencia Científico Técnica de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba 1988.
- Escobar Pérez. E. M.; F. Mondelo. 1991.** "Estructura Vulcano Tectónica El Cobre. Características Físicas Regionales". IV Conferencia Científico de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1991.
- Kuzovkov, G.; Zinchenko, V.; Alcaide, J.; Escobar, E.; Durañona, D.; Cobián, T.; Sánchez Cruz, R.; Guerra, M.; Rodríguez, R.; Méndez, I.; Gelis, B.; Lay, M;**



- Mondelo, F.; Rodríguez, M. (1988).** Informe sobre el levantamiento geológico a escala 1:50 000 y sus búsquedas acompañantes en escala 1: 10000 y 1: 5000 ejecutado en el área de la Gran Piedra al este de Santiago de Cuba en los años 1983-1987. ONRM. La Habana.
- Lavandero R.; J. Montano; J. Moreira, R. Sánchez Cruz, J. López Kramer, J. Cruz, et al. 1999** "Modelos Geológicos los Principales Yacimientos Auríferos de Cuba". Resúmenes del III Congreso Cubano de Geología. La Habana 1999.
- Méndez, I. 1997.** "Apuntes sobre el vulcanismo del Paleógeno en la región Sierra Maestra, características de su composición química". En "Estudios sobre Geología de Cuba", Furrázola-Núñez eds., 424-444 pp.
- Moreira, J.; J.L. Torres Zafra; J.L. Montano; A. Morales; I. Altarriba; F. Bravo; A. Suárez; B. Echevarría; D.J. Carrillo; J.L. Chang y D. González, 2000.** "Reevaluación metalogénica del potencial de recursos mineros de metales preciosos y base en Cuba oriental". Inédito Instituto de Geología y Paleontología.
- Nagy, E.; Brezsnysanszky, K.; Brito, A.; Coutin, D.P.; Formell, F.; Franco, G.L.; Gyarmatti, P.; Jakus, P. y Radocz, G.Y. (1976).** "Texto Explicativo del Mapa Geológico de la provincia Oriente a escala 1:250 000 levantado y confeccionado por la Brigada Cubano-Húngara entre 1972-1976". Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Pérez, M; M. Gorova; G. Kuzovkov. 1979.** "Características generales del Magmatismo de la Sierra Maestra". Revista La Minería en Cuba. Vol.5, No.1.
- Pérez Pérez, C.M.; M. Calzadilla; M. Villena. 1987.** Resultados del tema 314-14 "Utilización de la Teledetección para la Cartografía Tectónica de la Sierra Maestra". Informe Inédito. Fondos de Instituto de Geología y Paleontología.
- Pérez Pérez, C.M.; D. García, C. Cañete; F. Sánchez Menéndez. 1994.** "Tectónica de la Sierra Maestra y áreas adyacentes". Informe del Resultado 555. Archivo IGP. La Habana
- Pérez Pérez, C.M.; D. García Delgado. 1998.** "Tectónica de la Sierra Maestra (Sureste de Cuba), in Furrázola-Bermúdez, G., and Núñez Cambra, K., eds., Estudios sobre Geología de Cuba: La Habana, Centro Nacional de Información Geológica.
- Prieto Cainzos, R.; Padilla, I.; Lufriú, L.; Sánchez Cruz, R.; Fernández, J.; Prieto, F. (1993).** "Informe de los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el Territorio de las provincias Granma y Santiago de Cuba (S. Maestra). Archivo CNFG, 179 p.
- Rodríguez Basante, B. 1998.** "Radioelement distribution and interpretation of Gamma-Ray Spectrometric Data". Literature Review. EXG-2 Course 1998-1999. ITC. The Netherlands .
- Rodríguez Crombet, R.; M. Rodríguez; A. Yassel. 1998,** Características del magmatismo granitoideo de Cuba Oriental (región Sierra Maestra), in Furrázola-Bermúdez, G., and Núñez Cambra, K., eds., Estudios sobre Geología de Cuba: La Habana, Centro Nacional de Información Geológica.
- Russell, N., Kesler, S.E., Bell, D. (1995).** Metallogeny of The Sierra Maestra, Cuba. SGE Annual Meeting, A-239.



- Russell, N.; J. Moreira; R. Sánchez Cruz. 2000** "Volcanogenic Massive Sulphide Deposits of Cuba. P. 241-258 in VMS Deposits of Latin América, Geological Association of Canadá, Mineral Deposit Division. Special Publication No.2 (SRK Consulting & Smithsonian Institution. 2000).
- Sánchez Cruz, R. 1983.** "Nueva Metodología para la Búsqueda de Polimetálicos y Cobre en las Condiciones de la Sierra Maestra". I Conferencia Científico Técnica de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1983.
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez; C.M. Rosales Junco, 1984.** "Mineralización de Hierro y de Cobre y su Vínculo Tectono-Magmático en La Sierra Maestra". VI Congreso Centroamericano de Geología, Managua, Nicaragua. 1984.
- Sánchez Cruz, R.; E. Escobar; A. Núñez Carthy. 1984.** "Propuesta Metodológico-Organizativa para la evaluación de las Perspectivas Meníferas del Gran Parque Nacional Sierra Maestra". Santiago de Cuba 1984. Propuesta al MINBAS para la realización de trabajos de Prospección.
- Sánchez Cruz R.; J. Griffith. 1986.** "Características de la Radioactividad de las rocas y menas de la Sierra Maestra. Más de 24000 mediciones in situ, 1986. Resúmenes III Conferencia Científica de la S.C.G. Filial Ciudad de La Habana.
- Sánchez Cruz, R. 1993.** "Compilación de todos los datos Geológicos, Geofísicos y Geoquímicos de la Región de la Gran Piedra". IGP – David R. Bell Consultories, St.Catharines, Ontario, Canadá. (English)
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1993.** " Aspectos Geólogo-Geofísicos de la aplicación de diferentes modelos metalogenéticos, para la prospección de oro en la región de la Gran Piedra". GEOCIENCIAS'93, Filial Oriental de la Sociedad Cubana de Geología, ( SCG ). 1993.
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1994.** "Aproximación al Modelo Físico-Geológico del Arco Volcánico Paleogénico Cubano". II Congreso Cubano de Geología y Minería. Santiago de Cuba, 1994.
- Sánchez Cruz, R.; P. Ferro Espinosa; J.A. Bárzana Rodríguez 1997.** "Informe de cierre de los trabajos de Reconocimiento Regional realizados por la AEI CaribGold Mines Inc.-Geominera S.A en la Región de La Gran Piedra, Propiedad Sierra Maestra Oriental SMOR". ONRM
- Sánchez Menéndez, F. 1974.** "Resultados Preliminares de la Interpretación Geofísica del Levantamiento Sierra Maestra". Resúmenes (Tomo II) I Jornada de Geología y Geofísica. DGGG. La Habana. 1974.
- Simón, G., S. Kesler, N. Russell, C.M. Hall, D. Bell & E. Piñero. 1999:** "Epithermal Gold Mineralization in an Volcanic Arc: The Jacinto Deposit, Camagüey District, Cuba". Economic Geology - Vol.94, No.4, June-July 1999, p487- p506



## POTENCIALIDADES DEL MELANGE OFIOLITICO PARA YACIMIENTOS DE ORO.

**Ing. Juan José Rivero Manzano.**

*Empresa Geominera centro, Carretera de Malezas km 2.5, Santa Clara, Villa Clara,  
E-mail: [manzano@egmc.vcl.cu](mailto:manzano@egmc.vcl.cu)*

### RESUMEN

Las numerosas evidencias geológicas existentes, unidas a las nuevas concepciones sobre la evolución geológica de Cuba, permiten pronosticar un nuevo potencial para la localización de diferentes tipos de yacimientos de oro, en el Melange Ofiolítico de Cuba central. Entre estos tipos de yacimientos se pueden enumerar: yacimientos dentro de bloques de serpentinitas masivas tipo Descanso – Meloneras, yacimientos de oro diseminado producto del desmembramiento de partes de los depósitos antes mencionados, yacimientos de oro diseminado en la masa rocosa producto del enriquecimiento de determinados sectores de la masa serpentinitica e incluso yacimientos producto de la combinación de los tres tipos antes mencionados. En el trabajo se presenta una síntesis actualizada de los resultados de más de dos décadas de investigaciones, con una nueva interpretación sobre las perspectivas de uno de los territorios menos estudiados desde el punto de vista de la geología en general, y muy en particular de la prospección de yacimientos minerales metálicos.

### ABSTRACT

The many geological evidences in existence, together the new conceptions on the Cuban geological evolution, allow foreknowing a new potential to the location of different types of gold economic deposits, at the Melange Ophiolites of the Central Cuba. Among the types of these economic deposits are included: economic deposits inside the massive serpentines blocks Descanso – Meloneras types, gold economic deposits disseminated as a product of the breaking apart of these already mentioned deposits, gold economic deposits disseminated in the rock mass, as a product of the growing up of certain sectors of the serpentines mass, and even deposits as a product of the combination of the three types of economic deposits above mentioned. In this report is shown a current synthesis of the results of two decades of researching, having a new interpretation on the perspectives of one of the territories less studied, since the Geology point of view, and specially of the prospecting of metallic economic deposits.

Las rocas del Melange pertenecientes a las Ofiolitas septentrionales en Cuba central ocupan más de 450 km<sup>2</sup>, sus mayores afloramientos se localizan en la Sierra Alta de Agabama, donde forman un cuerpo de forma semicircular, aunque también se extienden en forma de bandas alargadas y estrechas por más de 100 Km. desde el poblado de Corralillo al noroeste de la provincia de Villa Clara, hasta el noroeste de la provincia de Ciego de Ávila.

Las potencialidades para la localizar diferentes tipos de yacimientos auríferos en el melange de Cuba central, están basadas en dos hechos fundamentales: el primero, viene dado por las numerosas evidencias geológicas reunidas en las últimas décadas, como resultado de los trabajos de levantamiento geológico y de prospección realizados en la región. El segundo, se apoya en los adelantos que sobre el conocimiento de la interpretación y evolución de la geología de Cuba se han logrado con ayuda de la teoría de la Tectónica de las Placas Litosféricas.



Entre las más notables evidencias para localizar yacimientos de oro tenemos:

1. La presencia de granos de oro libre con contenidos de hasta  $940 \text{ mg/m}^3$ , en ocasiones mayores (O. Romero y otros, 1990) en algunos sectores donde se desarrollan sedimentos eluvio – deluvio, e incluso en las rocas serpentinitica situada debajo de estos sedimentos, sin que en ellas sean evidentes otros signos de alteración que no sea la serpentización propia de las rocas ultramáficas, (por lo que se puede suponer la existencia de oro petrogenético diseminado en la masa rocosa). Ejemplos típicos son, las manifestaciones Los Canales, Entronque de la Presa Gramales, Oropesa y Meloneras Sur.
2. Es notable además la amplia distribución de muestras de jaguas con abundantes granos de oro, distribuidos en casi todas las áreas de afloramientos del melange ofiolítico, el cual se acumula en las terrazas de los arroyos, dando lugar a pequeños depósitos de placer con contenidos del orden de los  $500$  a  $1000 \text{ mg/m}^3$ , como ocurre en las terrazas del Río Sagua la Grande.
3. Existencias de anomalías de mercurio, cobre y arsénico dadas por flujos de corriente (elementos típicos de los depósitos Descanso y Meloneras), no sólo sobre las rocas del melange, sino también sobre los paquetes rocosos que las contactan y que son irrigadas por las corrientes que tienen su origen en el melange ofiolítico.
4. Existencia de depósitos, manifestaciones y puntos de mineralización de oro y plata en bloques tectónicos de rocas ultramáficas serpentinizadas, donde el esquema de alteración va gradando con una disminución significativa desde la zona de fractura mineralizada hasta los bordes de los bloques. Estas zonas minerales son alargadas por su rumbo, su potencia varía entre  $0.05$  a  $1.5 \text{ m}$ , raramente mayores, con ángulo de buzamiento abrupto aunque muy sinuoso. Se caracterizan por la fuerte carbonatización (entre un  $10 - 20 \%$ ), cloritización y muy escasa talcotización. Los minerales metálicos están representados por oro nativo acompañado de mercurio, telururos, arsenopirita, pirita, pirrotina, y otros sulfuros minoritarios. Los contenidos de oro varían desde los primeros gramos hasta los  $200 - 300 \text{ g/t}$ , y más. (Leyes de  $20$  a  $50 \text{ g/t}$ ), los de plata varían desde  $1$  a  $20 \text{ g/t}$  y raramente hasta  $100 \text{ g/t}$ . Los principales ejemplos son los casos de los Depósitos Descanso y Meloneras y la manifestación Oropesa. Existen algunos puntos donde se han detectado contenidos de oro de hasta  $2.8 \text{ g/t}$  dentro de pequeños bloques de rocas ultramáficas serpentinizadas en la matriz del melange. (pozo de perforación PB-34 al oeste de Meloneras).
5. Existencia de contenidos anómalos de oro (de hasta  $7 \text{ g/t}$ ) en muestras de suelo, en Meloneras sur y al Este de la manifestación Oropesa, asociados a la masa del melange ofiolítico.

Asociados a las rocas ofiolíticas existen ocurrencias minerales de oro – cobre, relacionadas con vetas de cuarzo, que afloran en forma discontinua desde el norte de la ciudad de Santa Clara hasta las inmediaciones del poblado de Tamarindo en la provincia de Ciego de Ávila. Pertenecen a los niveles superiores de la secuencia ofiolítica (cúmulos máficos y ultramáficos) (Rivero Manzano J. J. 1998). No se excluye la posibilidad de que partes de sus zonas minerales aporten mineralización aurífera a las rocas del melange en el área principal que nos ocupa, pero hasta el momento no se ha reportado la presencia de vetas, bloques o fragmentos de



cuarzo mineralizados, por lo que no se tiene en cuenta este tipo de mineralización actualmente. (Aunque no se debe excluir su posible aporte).

En lo referente a la evolución geológica podemos señalar que: Las Ofiolitas Septentrionales, (según M. A. Iturralde-Vinent. 1991 – 1998), son unidades de naturaleza oceánica, de edad pre-Tithoniense, en ellas están presentes todos los niveles de una secuencia ofiolítica ideal. En Cuba central, principalmente en la Sierra Alta de Agabama, presentan un intenso grado de desmembramiento, y una fuerte serpentinización de las rocas ultramáficas, en las que se han descrito grandes bloques de rocas masivas de la secuencia ofiolítica, dentro de una matriz esquistosa de la misma secuencia.

Su emplazamiento ocurrió (A. M. Iturralde - Vinent y otros), en dos etapas principales, una durante el Maastrichtiense – Daniense inferior sobre el arco volcánico del Cretácico, y otra durante el Daniense superior (?) - Eoceno Superior sobre el margen pasivo norteamericano. Por eso se explica que el emplazamiento tectónico de las ofiolitas septentrionales estuvo vinculado en el tiempo a la colisión entre los arcos volcánicos extintos y las Bahamas.

Durante estos procesos de emplazamiento, debieron producirse alteraciones de las rocas ultramáficas, a las que como en el caso de Cuba Central debieron ir ligadas la movilización de elementos metálicos como el oro (petrogenético), produciéndose el empobrecimiento o enriquecimiento de determinados paquetes rocosos, así como la formación de depósitos minerales en zonas de sutura, (J. A. Proenza. 1998), hacia donde grandes volúmenes de fluidos ricos en CO<sub>2</sub> migraron, pudiendo ser canalizados, y producir la carbonatización acompañada de importantes concentraciones de oro en las zonas de fracturas, como ocurre en los depósitos conocidos de la región.

Los depósitos vinculados a este proceso, se clasifican como orogénicos, (Groves et al. 1998), tienen un bajo grado de preservación y por lo general son destruidos, aunque, como ocurre en los Depósitos Descanso y Meloneras, las zonas minerales auríferas pudieron conservarse en grandes bloques de rocas ultramáficas serpentinizadas masivas. Y en la manifestación Los Canales, el oro nativo diseminado (con contenidos industriales) se preserva en determinados segmentos de la masa rocosa.

Partiendo de las evidencias presentadas y el cuadro general de la evolución y desarrollo de los procesos que tuvieron lugar en las rocas ofiolíticas septentrionales de Cuba central, se puede concluir que:

- Es evidente la presencia de oro petrogenético diseminado en determinados segmentos de las rocas ultramáficas, el que bien pudo ser removilizado, produciendo un enriquecimiento en zonas de fractura, o una diseminación en determinados paquetes rocosos, pero en un grado tal de concentración que llega a alcanzar contenidos industriales, como está demostrado en el sector Los Canales y probablemente en la parte este de la zona mineral en el Depósito Meloneras.
- No parece posible que las zonas minerales presentes en los bloques tectónicos de los depósitos Descanso y Meloneras, distantes una de otra aproximadamente 5 Km., sean ocurrencias aisladas e individuales, sino, que formaron parte bien de una o más zonas mineralizadas de mayor magnitud; estas debieron formarse en un estadio temprano de los procesos tectónicos, debido a que la mineralización está localizada sólo en la zona de fractura más antigua, que tiene una dirección por el rumbo Este – Oeste





aproximadamente, por lo que se puede suponer, que sólo se conserven en la actualidad sus partes menos fracturadas, y que pudieron resistir los embates de los movimientos tectónicos posteriores.

El pronóstico de la posible formación de zonas minerales de mayor magnitud, puede estar evidenciada en un bloque de serpentinitas brechadas de unos de unos 60 m de largo y 30 – 40 m de ancho en el cual el pozo de perforación PB-35 (Rivero Manzano J. J., 1992) cortó varios intervalos mineralizados de hasta 44 m de longitud, con oro nativo diseminado, en el cual los contenidos oscilan entre las primeras décimas hasta 538.3 g/t, (la presencia de sulfuros es casi nula). En los pozos PB-37 y PB-40 perforados en la misma zona, se observa una situación similar, aunque los intervalos mineralizados son menores (hasta 17 m de longitud).

Por tales razones es posible pronosticar la ocurrencia de varios tipos de yacimientos de oro - plata y oro, tales como.

- a. Yacimientos de oro – plata en bloques de rocas ultramáficas serpentinizadas, caracterizados por los altos contenidos de oro, acompañado de plata en menor cuantía.
- b. Yacimientos de oro libre diseminado, producto del enriquecimiento de determinados segmentos de rocas ultramáficas serpentinizadas, caracterizados por su gran tonelaje y baja ley, de fácil explotación y tratamiento de sus menas, los que pueden estar acompañados de cortezas de intemperismo con altos contenidos de oro. (Debe ser la combinación de ambos factores, debido a que las cortezas de intemperismo en la región presentan poco espesor).
- c. Yacimientos de oro, producto de la ruptura parcial o total de zonas minerales tipo “a” y/o la combinación de “a” más “b”, con las características de “b”.

Aunque directamente no tienen vinculación con los procesos descritos anteriormente no se debe descartar la posible presencia de paleoplaceres, principalmente en áreas de las cuencas Manajabo y Falcón, donde se desarrollan conglomerados con clastos y matriz de rocas pertenecientes al complejo ofiolítico dentro de las Formaciones Santa Clara y Falcón.

La información integrada en este trabajo señala objetiva y directamente, las características de yacimientos auríferos que deben existir y que pueden ser encontrados en el territorio mediante programas de exploración técnicamente conformados.

Considero, que el no haber descubierto nuevos yacimientos de oro semejantes a los tipos descritos anteriormente, localizados en las rocas del melange de la región central de nuestro país e incluso en otras regiones con características geológicas similares, se debe en parte a la falta de un programa bien formulado para su búsqueda, en áreas con potencial geológico para contenerlos, así como del desconocimiento técnico de la conformación de las ocurrencias minerales que se ha tenido hasta la fecha. Y además por las características propias de estos depósitos, que pueden ser fácilmente omitidos por no poseer signos significativos en la superficie.

### **Bibliografía:**

Coleman R. 1997. Ophiolites. Ancient oceanic lithosphere. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.  
Iturralde-Vinent M. A., 1998. Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica. (volum 33, pp 5 - 56). Facultad de Geología, Universidad de Barcelona.



- Krasilnikov V. et al. 1984. Informe Búsqueda de Polimetálicos y Oro San Martín. Archivo de la ONRM. Habana. Cuba.
- Proenza J. A. et al., 1998. Una introducción a la metalogénia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. Acta Geológica Hispánica. (volum 33, pp 89 - 131). Facultad de Geología, Universidad de Barcelona.
- Rivero Manzano J. J. 1984. Criterios para la prospección de yacimientos de oro en las rocas ultramáficas del Complejo Ofiolítico de Cuba central. Memorias del IV Congreso centroamericano de Geología. Managua, Nicaragua.
- Rivero Manzano J. J. et al. 1989. Informe Prospección Detallada oro Descanso. Archivo de la ONRM. Habana. Cuba.
- Rivero Manzano J. J. et al. 1992. Informe Prospección Detallada oro Meloneras. Archivo de la ONRM. Habana. Cuba.
- Rivero Manzano J. J., 1998. Características metalogénicas del Complejo Ofiolítico de Cuba central. III Congreso Cubano de Geología y Minería (GEOMIN 98). La Habana, (pp. 611 – 613).
- Romero Loynaz O., et. al. 1990. Informe Prospección Preliminar oro Loma Gobernadora Cerro Jíbaro. Menas primarias. (Cancelado) Archivo de la ONRM. Habana. Cuba.
- Romero Loynaz O., et. al. 1993. Informe Prospección Detallada oro Loma Gobernadora Cerro Jíbaro. Placeres. Archivo de la ONRM. Habana. Cuba.
- Vasiliev E., et al. 1989. Levantamiento Geológico 1:50 000 y Búsqueda Norte Las Villas II – Jíbaro Báez. Archivo de la ONRM. Habana. Cuba.
- Vázquez García C., et al. 1993. Levantamiento Geológico 1:50 000 y Búsqueda Norte Las Villas III – Jíbaro Báez. Archivo de la ONRM. Habana. Cuba.



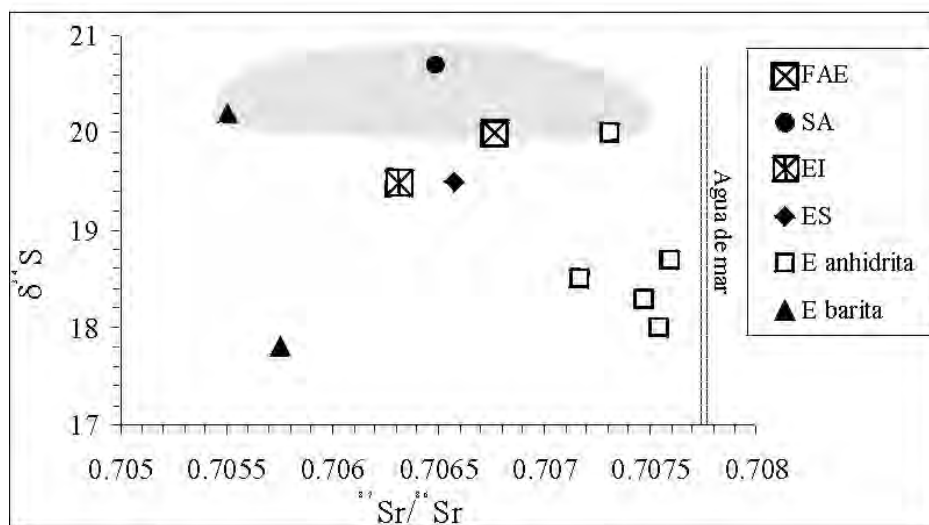
## ESTUDIO ISOTÓPICO DEL SR EN LOS SULFATOS DEL DEPÓSITO EL COBRE, CUBA ORIENTAL

Xiomara Cazañas Díaz<sup>(1)</sup> y Juan-Carles Melgarejo i Draper<sup>(2)</sup>

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía blanca y Línea del Ferrocarril, N° 1002, Virgen del Camino, san Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba. CP 11 000, E-mail: xiomara@igp.minbas.cu

(2) Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia, Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, c/Martí i Franquès s/n 08028, Barcelona, España, E-mail: joanc@natura.geo.ub.es

El depósito de sulfuros volcanogénico El Cobre consta de mineralizaciones estratiformes (E), estratoligadas inferior y superior (EI, ES) y filonianas (FAE) con stockwork en superficie (SA), localizadas dentro del Grupo El Cobre, perteneciente al arco Paleógeno. Se determinó la relación isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y  $^{34}\text{S}$  en muestras de anhidrita, yeso y barita correspondientes a las mineralizaciones ya citadas. La anhidrita, yeso y barita presentan relaciones isotópicas de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  entre 0.707592 y 0.705508. Los valores más bajos lo presenta la barita estratiforme (0.705508 y 0.705575) y los más altos la anhidrita y el yeso estratiforme (entre 0.707592 y 0.707165). Según Burke et al., 1982 la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  del agua marina del Terciario está entre 0.7077 y 0.70767. En comparación con estos valores del agua marina, los sulfatos de El Cobre los presenta generalmente inferiores, evidenciándose que estos no se han formado a partir de un fluido constituido únicamente por dicha agua. Los valores de Sr en la anhidrita (ligeramente inferiores a los del agua marina del Terciario) son los más altos y sugieren una mayor contribución de esta agua en su formación. Así mismo la composición isotópica del azufre en ellas con valores de  $^{34}\text{S}$  entre 18 y 20 ‰, cercanos a los valores reportados para el azufre del sulfato marino del Terciario (Claypool et al., 1980) también lo corroboran. El caso de la mineralización estratiforme de barita se puede explicar involucrando una fuente de estroncio con relación isotópica inferior a la del agua marina. Una posible fuente podría ser la pila volcánica que encaja y subyace al depósito. La  $^{34}\text{S}$  de la barita entre 17.8 y 20.2 ‰, por otra parte, sugieren una contribución de S proveniente del sulfato marino, atestiguando en favor de una fuente mixta de Sr donde el agua marina también lo haya aportado, pero consideramos que su contribución, a diferencia de lo que ocurre con la anhidrita y yeso, debe de ser inferior a la de la otra u otras posibles fuentes.



Relación isotópica  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  versus  $^{34}\text{S}$  en sulfatos de El Cobre. El área sombreada corresponde al campo del S en los sulfatos marinos del Terciario.



## EVALUACION GEOLOGO-ECONOMICA DE LAS MENAS OXIDADAS DEL YACIMIENTO DE ORO-COBRE GOLDEN HILL.

MCs. Higinio Pimentel Olivera<sup>(1)</sup>, Ing. Orestes Gómez González<sup>(2)</sup>, Ing. Teresa Gala Castro<sup>(2)</sup>, MCs. Elmidio Estévez Cruz<sup>(3)</sup>, Dr. José Q. Cuador Gil<sup>(3)</sup> MSc. Armando de la Torre D.

(1) Empresa Geominera Camagüey. Carretera Central Este, Km. 5<sup>1/2</sup>, Camagüey, Cuba.  
Telf. 271328, 271202. C. Elect. [higiniopo@geominera.enet.cu](mailto:higiniopo@geominera.enet.cu).

(2) División PROYEST. Vía Blanca y Cda. De Güines, S.M. del Padrón, C. Habana, Cuba. Telf. 557239,  
C. Elect. [Proyest@ceniai.inf.cu](mailto:Proyest@ceniai.inf.cu).

(3) Universidad de Pinar del Río, P. del Río, Cuba.

### RESUMEN

El yacimiento de oro- cobre Golden Hill se localiza en el municipio Jobabo, provincia Las Tunas. Desde el punto de vista estratigráfico se enmarca en la Formación Crucero Contramaestre, perteneciente al complejo vulcanógeno del Arco Volcánico Cretácico. Se le atribuye un origen epitermal de alta sulfuración, por remplazamiento de rocas vulcanoclásticas de composición media.

El depósito está formado por tres cuerpos de sulfuros masivos de pirita-enargita con oro diseminado, envueltos por sendas zonas de alteración argílica avanzada dentro de una gran zona de alteración argílica. La prolongada exposición de sus partes afloradas dio lugar a la formación de sombreros de hierro enriquecidos en oro, sin cobre, los cuales constituyeron el objeto de la evaluación.

El programa de desarrollo del proyecto partió del análisis conceptual de la información existente producto de los trabajos de la AEI Macdonald Mines-Geominera S.A. entre 1994-1997, el cual dio paso a un proyecto de Exploración Complementaria cuyos resultados sirvieron de base al Estudio de Factibilidad para la extracción y procesamiento del mineral por Lixiviación en Pilas. Los recursos se estimaron mediante un sistema automatizado, en un modelo de bloques de 5 x 5 x 5 m, con el uso de varios estimadores, entre ellos el Krigging, para la estimación de leyes. Las reservas extraíbles se calcularon partiendo de la optimización de cantera con ayuda del algoritmo de Lersh-Grossmann.

Los resultados del Estudio de Factibilidad fueron positivos. No obstante el proyecto se sometió a un proceso de optimización continua derivado de cambios favorables en las condiciones del mercado y otros factores, obteniéndose indicadores económico-financieros muy atractivos a pesar de ser un yacimiento pequeño. Los análisis de sensibilidad y análisis de riesgos hicieron posible la localización en el exterior de una fuente de financiamiento para la futura inversión.

### ABSTRACT

The Golden Hill gold-copper deposit is located southwest of Las Tunas province. It is enclosed into Crucero Contramaestre Formation, which belongs to the volcanic complex of Cretaceous Volcanic Arc. The deposit has been classified as a high sulphidation epithermal one, formed by replacement of vulcanoclastic intermediate rocks.

Three pyrite-enargite massive sulphide bodies containing disseminated gold conform the deposit. After a very long time exposure, their outcropping parts became copper free, gold enriched gossanous caps, which were subject of evaluation.

After Detailed Exploration, a Feasibility Study for mining and heap leaching processing was carried out. Mineral Resources were estimated by an automated system which allowed grade estimation in cells of 5 x 5 x 5 m, using different estimation tools, Krigging included. Reserves were calculated into designed pit by Lersh-Grossmann optimizing algorithm.

Results were initially positive for USD evaluation but negative for total currency evaluation. After a carefully project optimizing process and favourable changes of market conditions, results became attractive for both currencies, which determined Ministry's approval for the investment.



## INTRODUCCIÓN

La actividad minera en Cuba, con excepción del níquel, viene experimentando un proceso de decrecimiento que ha llevado al cierre de varias minas en los últimos años. Resulta una necesidad impostergable para la Unión Geominera la apertura de nuevas minas, cuyo nivel de rentabilidad asegure el autofinanciamiento para el ulterior desarrollo de la actividad extractiva y de prospección geológica. Yacimientos pequeños de oro como Golden Hill y Oro Barita entre otros, figuran entre esos objetivos.

Este trabajo sintetiza los resultados del proyecto de desarrollo de las menas oxidadas del yacimiento Golden Hill que se nos asignó en el año 2000, llevado a cabo con el esfuerzo de un nutrido grupo de especialistas de la Empresa Geominera Camaguey y la división PROYEST, con la participación de la Empresa Geominera Oriente y la Universidad de Pinar del Río.

## HIPÓTESIS DE PARTIDA

La existencia de trazas de oro en el área de Golden Hill se conoce desde mediados del siglo pasado. Sin embargo no fue hasta 1995-1997 que los geólogos de la AEI Macdonald Mines Exploration – Geominera S.A. se adjudicaron el descubrimiento de este yacimiento (Melling D. y J. Watkins, 1996) ubicado en el municipio Jobabo, en la provincia de Las Tunas (figura 1), en un área cuya economía se basa fundamentalmente en el cultivo de la caña de azúcar, la cría de ganado y los cultivos menores, básicamente para el autoconsumo local. El yacimiento está conformado por tres zonas mineralizadas denominadas Little Golden Hill, Three Hills y Big Golden Hill, que se distinguen como un grupo de pequeñas elevaciones en una extensa llanura (figura 2). Se enmarca dentro del complejo vulcanógeno del Arco Volcánico Cretácico, en la formación Crucero Contraamaestre ( $K_2^{cm-t-co?}$ ).



Figura 1. Ubicación del yacimiento Golden Hill



Figura 2. Little Golden Hill vista desde el sur

Los cuerpos minerales consisten en sulfuros masivos y semimasivos de pirita-enargita con oro diseminado, originados por el remplazamiento de rocas vulcanoclásticas de composición media, en condiciones de baja temperatura. Los sulfuros aparecen envueltos por una zona de alteración argílica avanzada hasta argílica, atribuyéndosele una génesis epitermal de alta sulfuración (Sillitoe R., 1996). La zona de oxidación desarrollada sobre las zonas minerales se caracteriza por el predominio de los óxidos de hierro, cuarzo poroso y otros minerales oxidados, en los que se produjo una lixiviación completa del cobre a la vez que una redistribución de los metales preciosos, dando lugar a la formación de las menas oxidadas de oro y plata sin cobre de Golden Hill (Melling D. J. Watkins y otros, 1996). La zona de oxidación a su vez se divide en



tres tipos naturales de mena: el Sombrero de Hierro, equivalente a los sulfuros masivos oxidados; la Argílica Avanzada, equivalente oxidado de la alteración del mismo nombre, cuyo contenido de oro refleja una redistribución del metal más allá del sombrero de hierro y la Zona de Transición, la más rica en oro, en el contacto entre el sombrero de hierro y los sulfuros masivos subyacentes.

Las condiciones hidrogeológicas del yacimiento son simples y desde el punto de vista ingeniero-geológico hay un predominio de las rocas destruidas sobre los bloques de rocas compactas, resultando las rocas de la mena Argílica Avanzada la que presenta los valores más altos del RQD (Pimentel H. y otros, 2002). Son menas friables, porosas y con grietas que facilitan la penetración del cianuro hasta las partículas de oro, que son extremadamente finas (Castellanos J. y otros, 1997). Todas las menas de los diferentes sectores respondieron al proceso de lixiviación en columna, reportando una recuperación de oro entre 70 y 86 %.



Figura 3. menas oxidadas de Little Golden Hill

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto comenzó con la elaboración de un programa general de desarrollo (figura 3), bajo la concepción de una Dirección Integrada de Proyecto, para lograr en el plazo más breve posible el objetivo final de poner en explotación el yacimiento.



Figura 4. Programa de desarrollo del proyecto





Partimos de la compilación y el análisis detallado de la información de los trabajos de prospección y exploración de la AEI Macdonald Mines-Geominera S.A., en la que se presentó una estimación de recursos de oro en categoría Inferidos, basado en la perforación de 169 pozos de exploración en los tres sectores del yacimiento. En muchas partes la densidad de la red de exploración no cumplía los requisitos de la Exploración Detallada, lo que indicaba la necesidad de trabajos de campo complementarios. Se revisó exhaustivamente y se validó la base de datos y se hizo una nueva estimación de los recursos, estableciendo condiciones de cálculo tomadas de la experiencia de la explotación minera en el yacimiento Oro Castellanos en Pinar del Río, muy similar a Golden Hill. La nueva estimación arrojó un volumen de recursos muy inferior en tonelaje pero con ley más alta, con una disminución neta de casi un 20 % de metal.

Con ese resultado y como parte la etapa conceptual del proyecto, se realizó un estudio de viabilidad (Prefactibilidad) para argumentar la conveniencia de llevar adelante la Exploración Complementaria; para ello se visitó a planta Oro Castellanos, de donde se tomaron los principales parámetros de la tecnología, elementos de costo, índices de consumo, etc. El estudio dio resultados positivos para los sectores Little Golden Hill y Three Hills; los recursos de Big Golden Hill se excluyeron del cálculo de reservas ya que su ley media, menor que 1 g/t, no alcanzaba el valor de la ley marginal para los precios del oro en ese momento. Por esa razón en el subsiguiente proyecto de Exploración Complementaria (Pimentel H., A. de la Torre y otros, 2000) no fue incluido el sector Big Golden Hill.

Los trabajos de Exploración Complementaria consistieron en la ejecución de 32 pozos de perforación para rellenar y cerrar la red de exploración, 2 pozos criollos para las determinaciones del peso volumétrico in situ y la validación de los resultados de los análisis químicos de los testigos de perforación, más de 900 determinaciones analíticas de Au y la actualización topográfica 1: 500 del área del yacimiento. No se tomaron muestras tecnológicas pues desde el punto de vista tecnológico el yacimiento ya había sido estudiado con suficiente detalle.

Los trabajos complementarios cumplieron eficazmente los objetivos proyectados y crearon las condiciones para pasar al Estudio de Factibilidad (ETE), etapa culminante de definición del proyecto. Para lograr el nivel de confiabilidad exigido por un ETE banqueable, es necesario contar con una estimación de recursos del mineral confiable y lo más exacta posible; la confiabilidad se determina por la calidad de los trabajos de exploración y la interpretación geológica de sus resultados, mientras que la exactitud depende más del método y las herramientas de cálculo. En este caso se optó por la utilización de un sistema automatizado para el empleo de las herramientas geoestadísticas de estimación. Para ello se creó una base de datos unificada en sistema Access y se confeccionó el modelo digital del terreno con ayuda de los sistemas Surfer y Autocad, desde donde se exportó en formato dxf. Previo a la estimación automatizada se realizó una estimación manual por el método de las secciones paralelas, tabulando y procesando los datos por el sistema Excel, la que nos permitió tener una primera aproximación del volumen de recursos.

En la estimación se utilizaron los datos de 115 pozos de perforación en una red de 25 x 25 m aproximadamente y 2 pozos criollos. Los datos de las trincheras realizadas por Macdonald Mines en 1994-1997 sólo se usaron de forma cualitativa, como ayuda para la interpretación geológica de las secciones.



Las condiciones para el cálculo se tomaron teniendo en cuenta los resultados del Estudio de Prefactibilidad y la experiencia de Oro Castellanos y fueron las siguientes:

- Contenido de borde para el contoneo 0.3 g/t.
- Potencia mínima industrial 1.0 m.
- Potencia máxima de intercalaciones estériles 5.0 m.
- Profundidad de la estimación Límite inferior de la zona de oxidación.

La secuencia general para la estimación automatizada fue la siguiente:

1. Creación del Modelo tridimensional de la superficie del terreno.
2. Determinación de los límites físicos del modelo geológico.
3. Creación del modelo tridimensional de los cuerpos minerales.
4. Análisis exploratorio de los datos (estadística descriptiva).
5. Análisis estructural de los datos (construcción y análisis de los variogramas).
6. Creación del Modelo de Bloques para la estimación.

Este último se construyó mediante la partición del modelo tridimensional en bloques 5 x 5 x 5 m y sub-bloques de 1 x 1 x 1 m en los bordes de los cuerpos minerales. El sistema automatizado calcula la masa minera de cada bloque o sub-bloque y le asigna una ley de acuerdo al interpolador escogido, en nuestro caso el Krigging y/o el Inverso del Cuadrado de la Distancia ( $ID^2$ ); la sumatoria de todos los bloques constituyen los recursos del yacimiento. A partir del Modelo de Bloques se calcula la curva de ley vs tonelaje, mediante la cual se determina la ley promedio y el tonelaje del yacimiento para diferentes valores de la ley de corte (Gómez O. y otros, 2002).

Los recursos estimados constituyeron el punto de partida para el proyecto minero, primer paso del Estudio de Factibilidad que constó además con un proyecto tecnológico y la evaluación económica general del proyecto. En el proyecto minero se realizó el diseño de las canteras para el cálculo de reservas extraíbles por niveles de explotación (cada 5 metros) a partir de la optimización de cantera mediante el algoritmo de Lersh-Grossman; se calcularon los volúmenes de extracción de mineral y estéril por años para la vida útil de la mina, determinándose así el coeficiente estéril/mineral y los volúmenes anuales de mineral a proceso.

El proyecto tecnológico se basó en la tecnología lixiviación por cianuración en lotes (Heap Leaching) y recuperación del oro en los licores con polvo de zinc (Merrill Crowe), para la cual se cuenta con una buena experiencia ya en el país. Consistió en el diseño de planta de procesamiento, determinación de los parámetros de operación, índices de consumo de reactivos y materiales, disposición de los depósitos de colas, las obras de la infraestructura, la plantilla de personal, los regímenes de trabajo, etc.

La evaluación económica se hizo para dos monedas: moneda libremente convertible (MLC) y moneda total (MLC + MN), según la metodología establecida por el MINBAS; se tuvieron en cuenta todos los costos de inversión y de operación del proyecto, así como los ingresos por las ventas de oro; Asimismo se tuvieron en cuenta los impuestos y regalías del Estado Cubano para la actividad minera, los costos del capital, etc. Se estimaron los Estados de Resultados, los Flujos de Caja y los Indicadores Económico-Financieros: VAN, TIR y Período de Recuperación de la Inversión, parámetros que determinan la viabilidad del proyecto.

## RESULTADOS

### ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y CÁLCULO DE RESERVAS:

La figura 5 representa el modelo tridimensional del cuerpo mineral Little Golden Hill. En las figuras 6 y 7 se muestran los variogramas de la ley de oro obtenidos para Little Golden Hill, a partir de la base de datos transformada (logarítmica). El ajuste del modelo se hizo mediante la derivación del modelo de variograma de los datos originales a partir del variograma de los datos transformados.

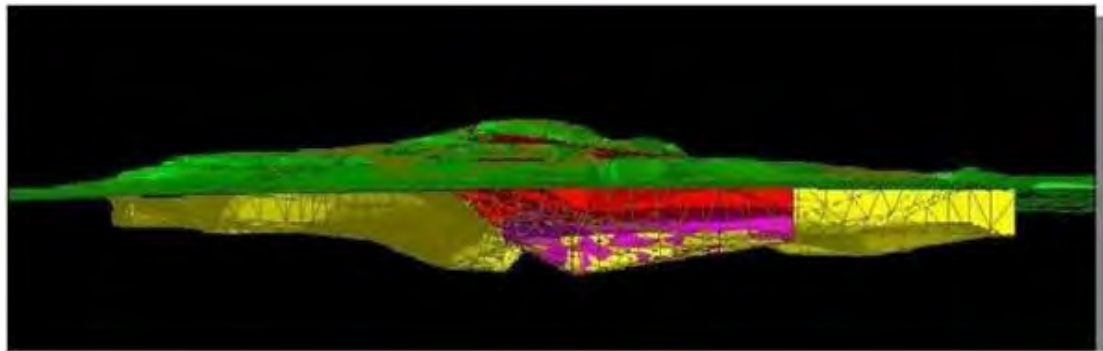


Figura 5. Modelo Tridimensional de Little Golden Hill visto desde el norte.

El modelo ajustado que se utilizó para el Krigging corresponde a un modelo exponencial:  
 $\gamma(h) = 0.05 + 7\exp(15,65,46)$  (Pimentel H., 2002)

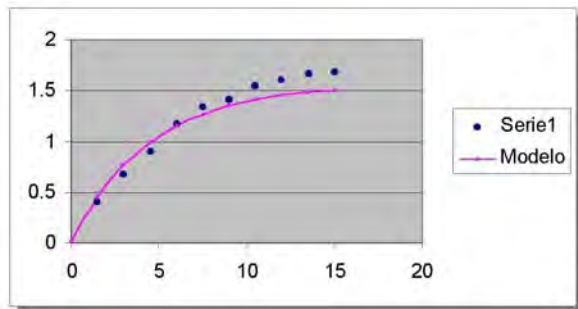


Figura 6. Variograma en la dirección pozo abajo.

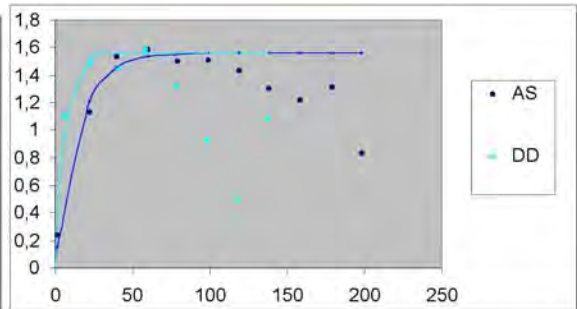


Figura 7. Variogramas en las direcciones N y W.

Para Three Hills, que representa menos del 20 % de los recursos, no fue posible lograr un ajuste adecuado de los variogramas, por lo que se usó el Krigging para la interpolación, en su lugar se utilizó el estimador  $ID^2$ . En Little Golden Hill se utilizaron los dos estimadores, para comparar sus resultados, obteniéndose la curva de regresión que aparece en la figura 8, de la cual se deduce que el estimador  $ID^2$  sobrevalora, con respecto al Krigging, la influencia de las muestras con altos contenidos de oro y subvalora las de contenidos bajos. La estimación por Kriging arrojó un valor de recursos de oro inferior en un 4 % al estimado por  $ID^2$ , diferencia permisible incluso para los recursos en la categoría de medidos. Los recursos de oro estimados superaron en un 25 % los estimados para la prefactibilidad. La curva de ley vs tonelaje para Little Golden Hill se muestra en la figura 9.

Del total de recursos, el 86 % pasaron a reservas extraíbles; de ellas el 89 % corresponden a la categoría probadas y el 11 % a la categoría probables; el coeficiente estéril/mineral es de 0.84. La vida útil del yacimiento se planificó para 4.5 años de explotación.

## EVALUACIÓN ECONÓMICA:

Los resultados iniciales del Estudio de Factibilidad, considerando un precio de venta de 270 USD/onza, de acuerdo a las tendencias de los años 2000-2001, fueron positivos pero no muy atractivos para la MLC, para la moneda total fueron negativos, lo cual hacía el proyecto no viable o en todo caso marginal si el Estado Cubano decidía asumir las pérdidas de la moneda nacional.

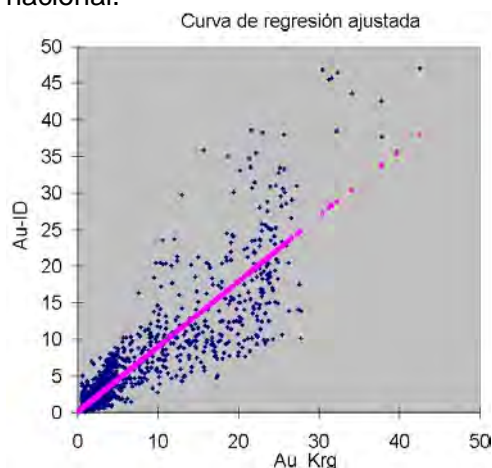


Figura 8. Au-Kriging vs Au-ID<sup>2</sup>

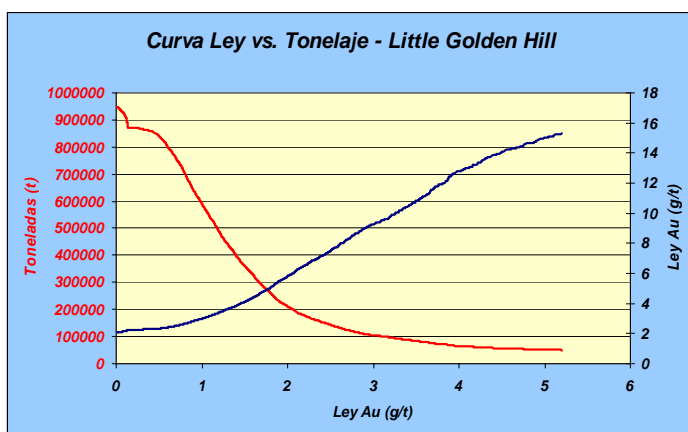


Figura 9. Curva ley vs tonelaje para Little Golden Hill

De inmediato comenzamos un proceso de optimización del proyecto en el que se tomaron varias decisiones importantes como fueron reducir el número de patios de lixiviación de 5 a 4; incrementar los volúmenes de extracción anuales para reducir la vida útil de 4.5 a 4 años, evitando así los costos fijos del 5<sup>to</sup> año; reducir el personal administrativo y de servicio disminuyendo la plantilla de 108 a 86 trabajadores. Sólo con estas tres medidas se obtuvo un VAN positivo, con lo cual se aseguraba que el proyecto pudiera operar sin pérdidas.

Sumado a lo anterior, a partir del año 2002 se comenzó a manifestar una tendencia al alza en el precio del oro, lo que motivó que se hicieran varias actualizaciones a 285, 300 y 320 USD/onza, valor este último que entendimos razonable mantener a pesar de que ya a finales de 2003 el precio superaba los 350 USD/onza. Los indicadores finales de la evaluación económica aparecen en la tabla I.

Tabla I. Resultados de la evaluación económica del proyecto.

INDICADOR	UM	MLC	M TOTAL
Valor Actual Neto (VAN al 12.5 %)	MP	2900	1500
Tasa Interna de Retorno (TIR)	%	86	40
Período de Recuperación	Años	1.13	1,8

El proyecto resulta positivo y atractivo para ambas monedas. Como se puede apreciar la inversión total se recupera en menos de dos años.



## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de la evaluación técnico-económica de las menas oxidadas de Golden Hill demuestran que éste constituye un proyecto muy atractivo para el sistema de la Unión Geominera, ya que con una inversión que no supera los dos millones de USD se obtiene un flujo de caja positivo que a los precios actuales ronda los 6 millones de dólares en 4 años de operación. Estos ingresos deben constituir una fuente de financiamiento importante para el desarrollo de programas priorizados como lo es el programa de la sal para la población y el propio programa del oro, ya que permitirá contar con fondos para llevar a cabo la exploración de otros yacimientos de la región como Florencia, Jacinto y Maclama, los que van a garantizar la continuidad de la minería del oro en este territorio.

Sin embargo, el volumen limitado de sus reservas y su corta vida hacen el proyecto vulnerable a los cambios bruscos de las condiciones técnicas y económicas que puedan producirse antes o durante las operaciones. Para conocer los elementos más vulnerables se hizo un análisis de sensibilidad, para el cual se escogieron como variables el precio de venta del oro, la recuperación total del metal, los costos de inversión y los costos de operación. De los resultados (figura 10), se deduce que la mayor sensibilidad se presenta para el precio de venta y los costos de operación (mayores pendientes). Sobre este último se puede ejercer un determinado control, elevando la eficiencia de las operaciones; para ello no debe pasarse por alto el análisis de alternativas tecnológicas que incrementen la recuperación del metal y disminuyan los costos.

El precio de venta por el contrario depende de las fluctuaciones del mercado internacional, por lo que los futuros operadores de la mina no tendrán ningún control sobre él, significando así el mayor riesgo para el proyecto. Una institución extranjera interesada en financiar el proyecto nos pidió profundizar en este aspecto, para lo cual estudiamos el comportamiento de la ley media y el tonelaje del yacimiento con la disminución del precio, partiendo de la curva original de ley vs tonelaje. El resultado puede verse en la figura 11, donde se aprecia que para el precio de 250 USD/onza -inferior al más bajo alcanzado en la década anterior- se necesita operar con una ley media de 3 g/ton, lo que reduce el tonelaje de mineral en un 17 %. Estos cambios no son significativos lo que nos dice que el proyecto, aunque sensible a las variaciones del precio del oro, puede resistir durante las operaciones una caída del mismo hasta niveles inferiores a los de los años 1997-2000, pero debe garantizarse que las operaciones mineras mantengan un estricto control sobre la ley de cabeza del mineral, lo cual se facilita con una exploración de explotación eficaz y eficiente y con el uso de un sistema automatizado de planificación minera.

Actualmente se analiza con dicha institución la conveniencia de sustituir la lixiviación en lotes por la lixiviación continua en tanque (proceso INNOVAT) y de la planta Merrill Crowe por un reactor de activación electromagnética (ELSA), lo que pudiera incrementar la recuperación de oro hasta en un 10 % además de reducir los costos de inversión y disminuir considerablemente los riesgos ambientales, aspecto este que resulta crítico en las operaciones de la lixiviación en lotes



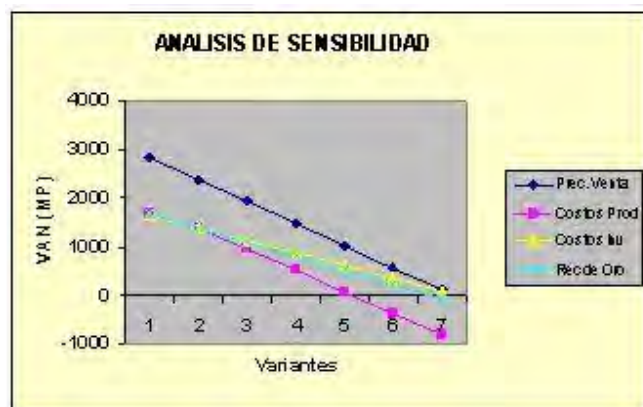


Figura 10. Análisis de sensibilidad respecto al VAN      Figura 11. Análisis del riesgo por caída del precio.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ♦ Las menas oxidadas del yacimiento Golden Hill constituyen un yacimiento de oro pequeño, pero técnica y económicamente factible de extraer y beneficiar por la tecnología de lixiviación en lotes.
- ♦ Las condiciones favorables de explotación y beneficio hacen de este proyecto un objetivo atractivo, capaz de operar aún con precios del oro inferiores a los más bajos registrados en la última década.
- ♦ La apertura de este yacimiento representa el punto de partida de la minería del oro en el territorio Camaguey-Las Tunas, donde se conocen otros yacimientos y manifestaciones importantes de ese metal.
- ♦ La explotación minera debe realizarse manteniendo un control estricto de leyes, para lo cual es recomendable el uso de un sistema automatizado de planificación minera.
- ♦ Deben analizarse objetivamente las alternativas tecnológicas INNOVAT-ELSA para incrementar la eficiencia y la rentabilidad del proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

- Castellanos J., M. Hernández, R. Fernández, 1997. "Estudio del Procesamiento de las menas de depósito Golden Hill a escala de banco y piloto", ONRM.
- Gómez O. y otros, 2002, Estudio de Factibilidad para la Explotación y Beneficio de las menas oxidadas del yacimiento Golden Hill, ONRM.
- Melling, D and Watkins, J., 1997. Report of work for the 1996/1997 Period of the MacDonald Mines Exploration on Golden Hill Exploration Area, Florencia-Jobabo Region, Republic of Cuba, ONRM.
- Pimentel H., A. De la Torre y otros, 2000, Proyecto para la Exploración Detallada de las menas oxidadas del yacimiento Golden Hill. Trabajos complementarios. ONRM.
- Pimentel H., A. De la Torre, F. Roque, y otros, 2002, Informe Final de la Exploración Detallada de las menas oxidadas del yacimiento Golden Hill. Trabajos complementarios. ONRM.
- Pimentel H., 2002, Evaluación Técnico-Económica de las menas oxidadas del yacimiento de Au-Cu Golden Hill. Tesis de Maestría, ISMM de Moa.
- Sillitoe, R.H., 1996. Comment on exploration of the Golden Hill gold-copper prospect, Cuba. En: Melling, D and Watkins, J.J., 1996. Report of work for the 1995/1996 Period on Golden Hill Exploration Area Florencia-Jobabo Region, Republic of Cuba, ONRM.



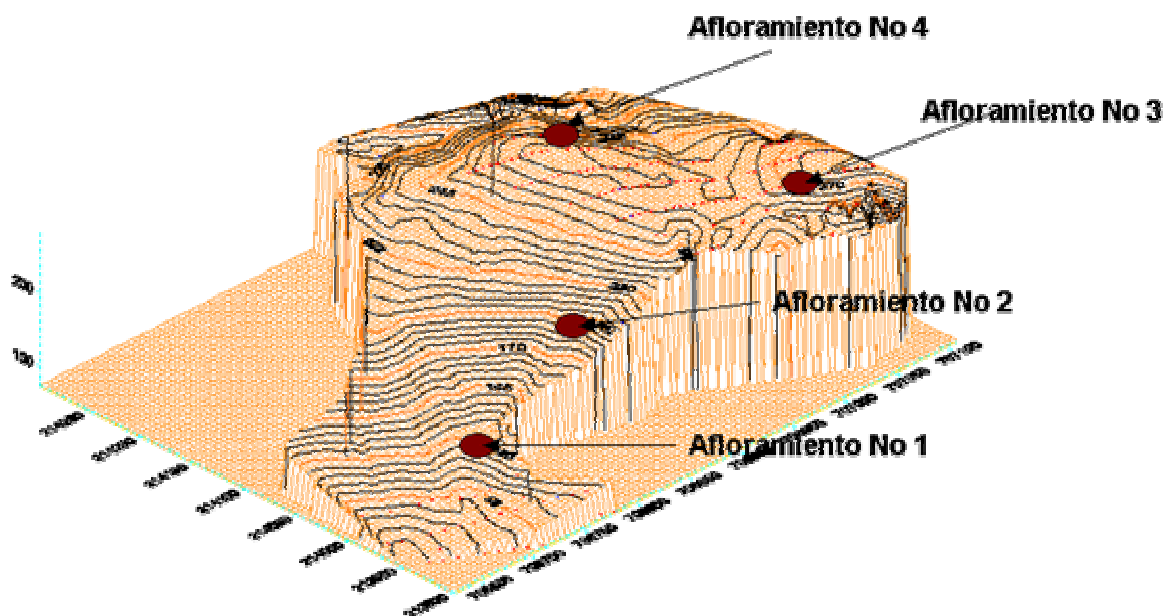


## EL DEPOSITO DE CROMITITAS PODIFORMES NARCISO I. PARTICULARIDADES GEOLÓGICAS Y ESTRUCTURALES

José A. Barzana Rodríguez, Rubén Ruiz Sánchez, Jorge Acosta Breal y Waldo Lavaut Copa

EMPRESA GEOMINERA DE ORIENTE, Carretera de Siboney Km 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Alturas de San Juan, Santiago de Cuba. Teléfono: (53-22) 641603, 643836. Fax: (53-22) 87130. E-mail: [r Ruiz@geom.stg.minbas.cu](mailto:r Ruiz@geom.stg.minbas.cu)

El depósito de cromititas podiforme Narciso I se encuentra en el flanco NE del campo mineral Cayo Guan- Cromita, perteneciente al distrito cromífero Moa-Baracoa no ha sido estudiado en los últimos 40 años. Las investigaciones más recientes han confirmado que la mineralización presente es del tipo rico en Al (refractaria), presentando el # Cr (0.47 – 0.55) similares características que otros depósitos investigados en la región (Cayo Guan, Amores y Merceditas). La mena predominante corresponde al tipo densamente diseminado a diseminado y se localizan en los horizontes superiores relacionadas con rocas duníticas y olivínicas impregnadas (duníticas plagioclásticas), teniendo como rasgos distintivos, potencias pequeñas ( $\leq 2$  m) con sills de gabros concordantes con los cuerpos minerales en una secuencia aproximada de 60 metros de espesor en dunita. Hacia los horizontes profundos cercano al contacto dunita-harzburgita se localizan los cuerpos minerales masivos, relacionados con fallas locales, que pueden estar asociada con los canales conductores de la mineralización. El estudio del depósito permitió no solo determinar que la zona mineral está constituida por 4 cuerpos minerales distribuidos que descienden en dos niveles (Afloramiento 3 y 4, + 200 m y + 105 m, Afloramiento 1), la mineralización más rica ( $> 40 \text{ Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\geq 26 \% \text{ Al}_2\text{O}_3$ ) se le localiza en la cercanía del contacto de la dunita - harzburgita, y la diseminada ( $\leq 28 \text{ Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\leq 25 \text{ Al}_2\text{O}_3$ ) en el espesor potente de dunitas con impregnaciones de plagioclasa. También además que por las características geológicas se confirmó la ubicación del depósito en el paquete petroestructural IV del Campo Mineral Cayo Guan-Cromita, típico de una zona de transición manto-corteza o MTZ de las ofiolitas del Macizo Moa – Baracoa, en el campo de las cromititas podiformes tipo alpino.



## **SOBRE LA MINERALOGÍA, LA PETROLOGÍA Y LA GÉNESIS DE LA MINERALIZACIÓN HIDROTHERMAL DE CU – NI – FE CON ORO Y PLATA ACOMPAÑANTE, DE LAS OFIOLITAS DE HABANA-MATANZAS**

María Santa Cruz Pacheco, Angélica Llanes, Deysy de la Nuez, Carbeny Capote

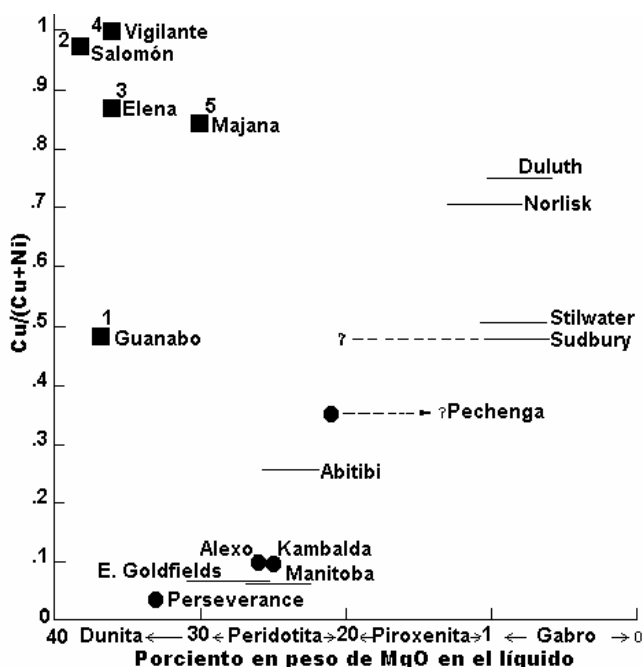
*Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril s/n CP 11000: e. mail: [maria@lacemi.cu](mailto:maria@lacemi.cu)*

Sin dudas, uno de los objetos que deben ser incluidos en los nuevos programas prospectivos de metales preciosos en Cuba es la mineralización sulfurosa de Cu – Ni – Fe, acompañada de oro y de plata que se encuentran en las ofiolitas de Habana Matanzas; donde se han encontrado altos contenidos de oro, con valores de hasta 19.5 g/ton.

La mineralización se asocia a zonas de trituración y fallas, de direcciones que varían desde NE hasta E-W, tomando la forma de lentes, venas y diseminaciones, encajados en serpentinitas harzburgíticas, harzburgitas serpentinizadas y otras litologías características de la zona transicional tectónica – cúmulo, de la asociación ofiolítica. El proceso de alteración circunmenífera predominante es carbonatización-serpentinización, aunque también se observa el de cloritización-carbonatización. A pesar de estar la carbonatización siempre presente, no se puede aseverar la ocurrencia sensu strictu de listvinitización por el hecho de no haberse encontrado hasta el momento la mica cromífera fushita – mariposita, mineral indicador típico,

La mineralización metálica está constituida principalmente por pirrotina, calcopirita y pentlandita, apareciendo en menor proporción: valleriita, magnetita, cubanita, y otros. La forma más abundante del oro es la nativa, ocurriendo en forma de grietas o como inclusiones, siempre en la pirrotina. Asimismo, se encuentra en forma de trazas en calcopirita y pirrotina, aspecto este a tener muy en cuenta a la hora de proyectar la perforación y el proceso de beneficio de los ensayos tecnológico.

En los depósitos magmáticos de níquel, cobre y hierro asociados a ultramafitas la relación Cu/Cu+Ni es muy baja. Sin embargo, en la mineralización estudiada es muy elevada (figura), comportamiento muy similar a la encontrada en los depósitos vinculados a gabros magmáticos, lo cual permite proponerle un origen hidrotermal del tipo mesotermal, donde los sulfuros fueron concentrados en las rocas a partir de fluidos acuosos, responsables también de la serpentinización.



Relación entre la proporción Cu/Cu + Ni de las menas de sulfuros de Ni-Cu magmáticos (●) y de los depósitos de sulfuros Cu-Ni-Fe en las ofiolitas de Habana - Matanzas (■) con la naturaleza de la roca hospedera



## LA ZONA DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL LIMONES EN LA SIERRA MAESTRA: RAZONES PARA UN NUEVO PROSPECTO MINERO.

Roberto Sánchez Cruz(1), Pedro Ferro Espinosa(2), José A. Bárzana Rodríguez(2), Eric M. Escobar Pérez(3)

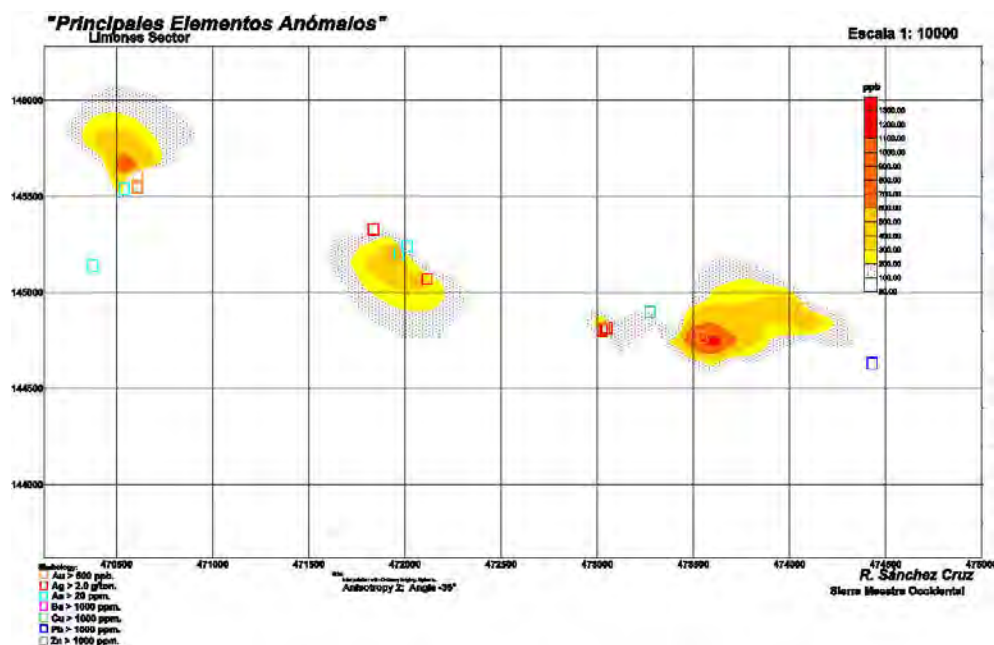
(1) Instituto de Geología y Paleontología, (2) Empresa Geominera Oriente, (3) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

Se reporta el descubrimiento de oro y polimetálicos en la región de Limones de Mota en el extremo occidental de la Sierra Maestra, zona correspondiente a la franja de dirección sublatitudinal caimana, en el centro de la parte axial del Arco Volcánico Paleogénico, donde aparece fundamentalmente mineralización sulfurosa.

Los trabajos comprobaron la zona de interés de Limones o Anomalía EM-18, la que se extiende por **5 Km** de largo con unos **300m** de amplitud en su parte más ancha. Aparece una fuerte zona de propilitización con mineralización visible de pirita y calcopirita fundamentalmente, encontrándose baritina y polimetálicos más esporádicamente. Las tobas de composición media-ácida están muy intemperizadas. La zona se halla cubierta por suelo de aspecto terroso y de color rojizo con mucho caolín, mayoritariamente cubierta por vegetación; sólo en los cortes de arroyos y ríos se obtiene una buena visión del corte y su potencia.

Dentro de la zona de propilitización, en el cauce del arroyo Montero, con  $Az=290^{\circ}-300^{\circ}$  se detectaron vetas de esfalerita y calcopirita con espesores entre 5-40 cm. Este pequeño sistema de vetas se expone a lo largo de 7-8 m. en el cauce citado, perdiéndose luego bajo los sedimentos de dos pequeñas terrazas fluviales que flanquean el arroyo. El contenido de oro de dichas vetas alcanza los **10.9 g/t y más de 1% de Plomo y Zinc**. Varios puntos de interés con oro (5, Au>1.0g/T) y cobre (4 entre 1.0 - 3.35%) fueron detectados.

En las cercanías del sector, aparecen cuerpos subvolcánicos de andesitas y andesibasaltos de carácter porfírico, muy propilitizados ( cuarzo, pirita, clorita, cerusita, carbonatos, barita, caolín, limonita, goethita) y a veces mineralizados (sulfuros: pirita y calcopirita). En menor grado se ha observado malaquita, pirrotina, galenita, cleofana, esfalerita y otros. Sólo se tomaron muestras de los afloramientos que en general están muy intemperizados. Las dimensiones de la zona y lo preliminar del trabajo realizado potencian su interés para la realización de trabajos de prospección.



Mapa de los Contenidos de Oro en g/t y de los principales elementos anómalos en el Sector Limones.



## **MORFO-TEXTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS GRANOS DE ORO EN LOS SEDIMENTOS FRIABLES Y HORIZONTES LATERÍTICOS DE LA REGIÓN SAGUA DE TÁNAMO-MOA: IMPLICACIONES EN LA METALOGENIA Y LA PROSPECCIÓN GEOLÓGICA**

**Alberto Ramón Vila Sánchez**<sup>(1)</sup>, Roberto Díaz Martínez<sup>(1)</sup>, Joaquín Proenza F.<sup>(2)</sup>,  
Joan C. Melgarejo.<sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Geología, ISMM; (2) Departamento de Geología, Universidad de Barcelona, España.

La investigación titulada "Morfo-textura y composición química de los granos de oro en los sedimentos friables y horizontes lateríticos de la región Sagua de Tánamo-Moa: implicaciones en la metalogenia y la prospección geológica", tiene como objetivo principal caracterizar la forma, textura y composición química de los granos de oro en los sedimentos friables y horizontes lateríticos de la región Sagua de Tánamo-Moa mediante el empleo combinado de técnicas analíticas tradicionales y avanzadas con el fin de esclarecer su naturaleza, posibles áreas fuente y ubicación espacial de éstas últimas.

Las partículas de oro identificadas en los sedimentos aluviales presentan formas esferoidal y tabular con texturas superficiales rugosas y corroídas. Los índices de aplastamiento resultaron bajos (entre 1 y 2 unidades), lo que refleja el bajo grado de transporte experimentado.

El oro presente en los sedimentos de playa tiene formas laminares y discoidales con texturas lisas y estriadas. Los índices de aplastamiento reportaron valores por encima de las 5 unidades lo que indica mayor distancia de transporte. Las partículas de oro reveladas en los horizontes lateríticos poseen formas tabulares con texturas corroídas y esponjiformes. Los valores del índice de aplastamiento fueron bajos (entre 1 y 2 unidades). Las áreas-fuente de las partículas auríferas de los sedimentos aluviales se localizan en un radio no mayor de 50 m, mientras que las fuentes del oro de los sedimentos marinos se ubican a distancias mayores que pueden superar el kilómetro para ambos sectores estudiados.

Los granos de oro muestran variaciones composicionales correspondientes a combinaciones intermetálicas de Au-Ag-Hg (oro mercurial) en el placer Mejías, de Au-Cu (tetraauricúprido) en los sedimentos de playa Jiguaní, en el horizonte saprolítico del perfil laterítico y en los sedimentos aluviales del río Cayo Guam y de Au-Ag (electrum) en todos los sedimentos, excepto en las acumulaciones marinas de la playa Jiguaní. Estos resultados indican la complejidad de la metalogenia del oro en la región de estudio. El grado de transporte sufrido por los granos de oro indica la cercanía o lejanía de las áreas fuentes y por consiguiente su importancia en la prospección geológica, revelándose el área de la cuenca del río Castro, Cerrajón y las Novillas como la más prometedoras para futuras campañas de exploración auríferas, así como la cuenca del río Quesigua y los sectores de cortezas lateríticas con amplio desarrollo de procesos hidrotermales.

## APROXIMACION A UNA EVALUACION DEL POTENCIAL METALIFERO Y PETROLIFERO DEL TERRENO GUANIGUANICO

**Jorge Luis Torres Zafra<sup>(1)</sup>, Rafael Lavandero<sup>(1)</sup>, Jesús Moreira<sup>(1)</sup>, Justo Luis Montano<sup>(1)</sup>.**

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Via Blanca s/n, e/ Carretera Central y Línea de F.F.C.C., Virgen del Camino, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Eléct: [zafra@igp.minbas.cu](mailto:zafra@igp.minbas.cu)

### RESUMEN

Los autores presentan un ejemplo de empleo, con un enfoque integrador, de los resultados de las investigaciones geológicas de distintos tipos realizadas en las secuencias del Terreno Guaniguanico para una aproximación a la evaluación de su potencial metalífero y petrolífero. Estas secuencias son portadoras de depósitos de Zn, Pb, Cu, Ag  $\pm$  Au, Co y generadoras de hidrocarburos. El contenido de carbonatos en ellas es un importante controlador en la ubicación y delimitación espacial de los sitios de acumulación de menas. Se sugiere igualmente que la carbonatosidad constituye un importante factor en la modulación del comportamiento de estas secuencias como sello o como reservorio. La materia orgánica jugó un importante papel en la formación de los depósitos polimetálicos estratiformes al establecer un ambiente físico – químico reductor, condicionar el carácter reducido de los fluidos mineralizantes y permitir la acumulación del S biogénico que intervino en la formación de los mismos. Los resultados de los estudios metalogénicos brindan la posibilidad de separar las localidades representativas de la historia de enterramiento de los sedimentos de aquellas afectadas por la actividad magmático - hidrotermal. Estos resultados reflejan que cerca del 25 % del área de este terreno fue afectada por la mencionada actividad. Se señala la utilidad del índice de Hidrógeno (HI) y de las anomalías de metano como guías para la prospección de depósitos polimetálicos estratiformes ciegos hospedados en secuencias ricas en materia orgánica.

### ABSTRACT

The authors present an employment example, with an integrative mode, the results of the geologic investigations of different types carried out in the sequences from Guaniguanico Terrain for one approach a evaluation of their metal-bearing and oil potential. These sequences host deposits of Zn, Pb, Cu, Ag  $\pm$  Au, Co and are mother rocks. The content of carbonates in them is an important controller in the location and space delimitation of the places of accumulation of ore. Is suggested equally that constitutes an important factor in the modulation of the behavior of these sequences like seal or reservoir. The organic matter played an important paper in the formation of the stratiform polimetaltic deposits establishing a reducer physical - chemical environment, to condition the reduced character of the mineralized fluids and to allow the accumulation of biogenic S that intervined in the formation of the same ones. The metallogenetic studies results offer the possibility to separate better the representative localities of the history of burial of those affected by the magmatic - hydrothermal activity. These results reflect that near 25% of the area of this terrain it was affected by the mentioned activity. The utility of the index of Hydrogen (HI) and of the methane anomalies is pointed out like guides for the prospecting of blind stratiform polimetaltic deposits host in rich organic matter sequences.

### INTRODUCCIÓN

En la Ciencia moderna, cada día adquiere más fuerza el empleo de enfoques integradores multidisciplinarios en la resolución de problemas científicos complejos. La Geología, que estudia un objeto tan complejo y multifacético como es el planeta Tierra, y cuyo campo de acción ya se



ha extendido a otros planetas, no escapa a esta tendencia. Tradicionalmente, las investigaciones orientadas al estudio y evaluación de los depósitos minerales metálicos y de hidrocarburos se han realizado en forma separada y siguiendo caminos propios en ambos casos. Sin embargo, por encima de las conveniencias y convenciones humanas está el hecho de que ambas clases de recursos naturales no renovables son objetos de estudio de la Geología. En este contexto, la utilización de un enfoque integrador en el análisis de los resultados obtenidos en ambos campos de la actividad geológica puede resultar muy útil en el estudio y evaluación de los recursos minerales metálicos y energéticos de una cuenca sedimentaria. Este trabajo se propone mostrarlo en el caso de las secuencias de margen continental de la provincia Pinar del Río, ubicadas en la parte más occidental de Cuba.

En el Cinturón Plegado cubano las secuencias ricas en materia orgánica tienen una amplia distribución en las unidades geotectónicas de afinidad continental (Linares 2002 y 2003). Dichas secuencias se ubican, básicamente, en la periferia de dos bloques distintos de la plataforma continental norteamericana. Las asociadas al bloque Florida – Bahamas se halla en la parte septentrional del país, desde la provincia La Habana hasta Holguín, extendiéndose bajo las aguas del Canal Viejo de Bahamas y el Estrecho de la Florida. Las mismas incluyen importantes unidades litoestratigráficas generadoras de petróleo y los principales yacimientos de este recurso natural no renovable conocidos en Cuba hasta el momento. Por otra parte, en las regiones occidental y central de Cuba se ubican varias unidades estructurales, comúnmente conocidas en la literatura como “Terrenos de Cuba SW” (Iturralde Vinent, 1996a). Estas son los terrenos Guaniguanico, ubicado en la provincia de Pinar del Río; Pinos, situado en la Isla de la Juventud y Escambray, localizado en el macizo montañoso Guamuhaya, en la parte meridional de las provincias Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus. Los mismos representan secuencias asociadas a la parte oriental y nororiental del Bloque Yucatán (Iturralde – Vinent, 2000; Millán, 2003). Más recientemente, García et al (2003) han planteado que los terrenos Pinos y Escambray son fragmentos de un microcontinente, separado durante la ruptura de Pangea, que colisionó en el Campaniano con el Arco Cretácico Cubano, provocando la extinción del mencionado arco. Las secuencias que componen los terrenos de Cuba Suroccidental, a diferencia del bloque Florida - Bahamas, se destacan por albergar numerosos depósitos minerales metálicos, principalmente piríticos y pirítico - polimetálicos portadores de Zn, Pb, Cu, Ba, Au, Ag, y Co.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo es el resultado de la consulta y análisis de numerosos informes de prospección, levantamientos geológicos regionales a diferentes escalas, investigaciones temáticas, artículos y tesis de grado, en su gran mayoría inéditos, relacionados con los depósitos minerales y la metalogénia de la provincia Pinar del Río. También se consultaron varios trabajos relacionados con la evaluación de las perspectivas petrolíferas de la región occidental de Cuba, en particular sobre las características de sus rocas madres. La información recopilada, sistematizada y generalizada, permitió a los autores arribar a los resultados e inferencias que aquí se exponen.

Para estudiar la mineralogía de los depósitos polimetálicos conocidos en esta zona metalogénica, se hizo una recopilación y análisis de los resultados de las distintas investigaciones mineralógicas realizadas en cada uno de los 23 depósitos minerales seleccionados por poseer suficiente información de este tipo, agrupados por subzona metalogénica. Esto ha permitido a los autores reconstruir, aunque fuese de forma aproximada, la historia mineralógica de los mencionados depósitos minerales y, a través de los resultados de esta sistematización y análisis, lograr una aproximación a su modelación genética. De este voluminoso trabajo, aquí solo se toca lo relacionado con el papel de los carbonatos en el control

litológico de las menas, dejando a un lado otras cuestiones de gran interés sobre la génesis de los depósitos pirítico - polimetálicos de esta región del país.

Información de mucho valor sobre el contenido de materia orgánica y las características de la misma en las secuencias del Terreno Guaniguanico existe dispersa en varios informes de prospección y exploración elaborados por distintos colectivos de autores. También existe una amplia información petrográfica sobre estas secuencias, recogida tanto en los informes de prospección como en los correspondientes a los levantamientos geológicos regionales. Los autores sistematizaron esta información dispersa, teniendo en cuenta además resultados inéditos de pirólisis Rock – Eval obtenidos por especialistas del Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET). Igualmente, se recopiló información acerca de las manifestaciones de hidrocarburos superficiales y de pozos reportadas en las formaciones San Cayetano y Esperanza.

## RESULTADOS

El Terreno Guaniguanico o Zona Tectónico - Estratigráfica Guaniguanico (García et al, 2003) se extiende por todo el N y NW de la provincia Pinar del Río y se corresponde con la Zona Metalogénica Guaniguanico (Torres et al, 2004). Está compuesto por secuencias terrígenas, terrígeno – carbonatadas y carbonatadas de margen continental (Sinrift y Postrift), con subordinado magmatismo toleítico distensional en grado variable (desde moderado hasta ausente). Las mismas cubren un amplio intervalo temporal, desde el Jurásico Inferior hasta el Cretácico Cenomaniano, llegando hasta el Turoniano en algunas localidades de la Sierra del Rosario (Linares, 2003; Cobiella, 2003). Estas secuencias son generalmente ricas en materia orgánica (de 1 hasta 35 % de sustancia carbonosa y 1 – 23,86 % de Carbono Orgánico Total), habiéndose acumulado en ambientes predominantemente reductores. Estos ambientes deposicionales abarcan facies emergidas, costeras y de aguas someras restringidas, así como de mares abiertos someros y profundos.

Las secuencias del Terreno Guaniguanico hospedan depósitos polimetálicos estratiformes de Pb - Zn - Ag  $\pm$  Cu, Au tipo Sedex y de Cu - Co  $\pm$  Au, Zn tipo Besshi fundamentalmente. Los primeros se encuentran en la Fm San Cayetano ( $J_1 - J_3$ ), incluido el Miembro Castellano ( $J_3^{ox}$ ), que representa la parte más alta de esta formación, mientras que los segundos se localizan en la Fm. Esperanza ( $J_3^{ox} - K_1^{ne}$ ).

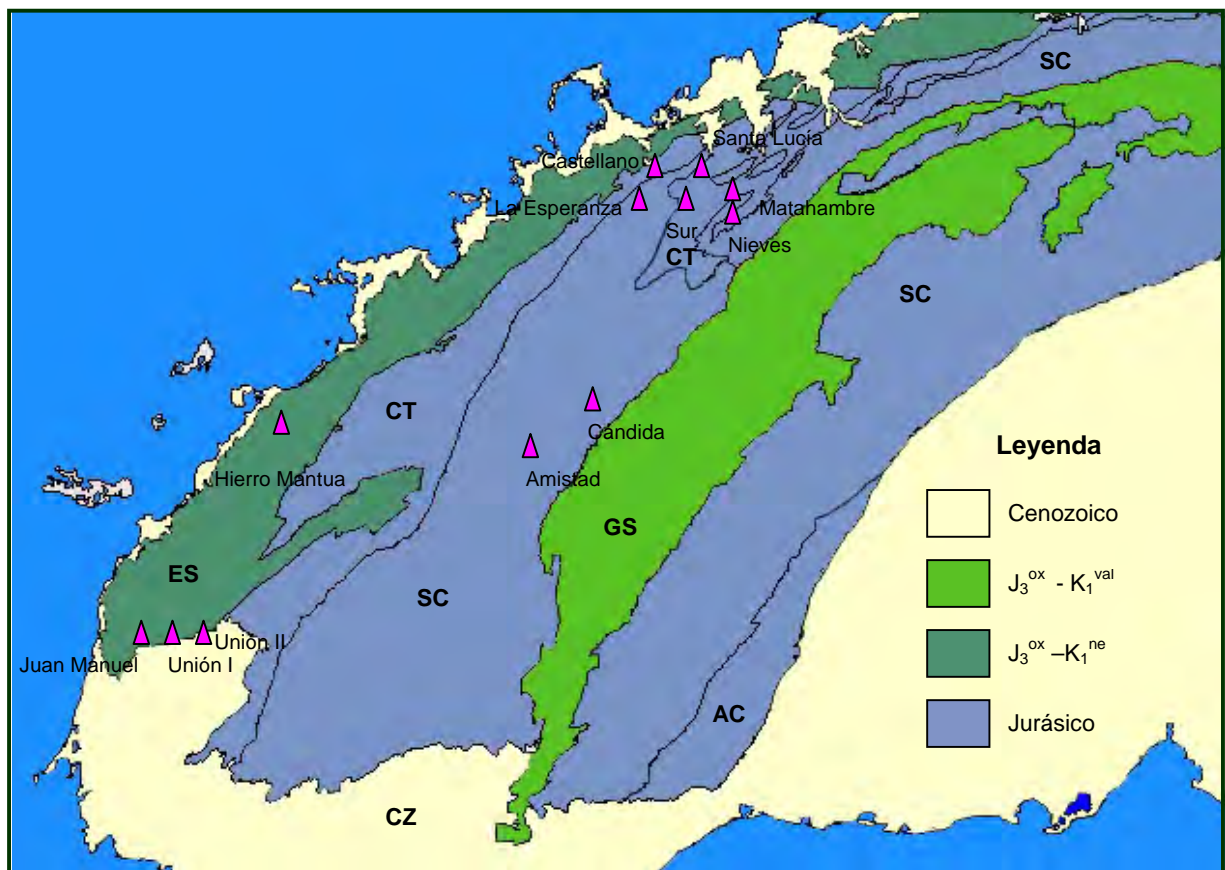
### Petrografía y mineralogía

En la Fm. Esperanza ( $J_3^{ox} - K_1^{ne}$ ), los depósitos de Cu - Co Unión I y Unión II (ver figura No 1) se encuentran en una secuencia de areniscas calcáreas, calizas cristalinas arenosas estratificadas, limolitas y pizarras negras carbonosas. Esta secuencia presenta frecuentes cambios faciales, así como capas y lentes concordantes de diabasas y gabrodiabasas porfíricas. Estos cuerpos ígneos son representativos de un magmatismo de margen continental. En Juan Manuel (Cu - Co), la secuencia hospedera está compuesta por potentes capas de calizas carbonosas estratificadas de grano fino, con intercalaciones de pizarras carbonosas gris oscuras a negras, con 45 - 65 % de material hidromicáceo y 18 - 23 % de carbonatos. Las calizas portadoras de mena están recrystalizadas, formadas por calcita (hasta 75 %), dolomita (5 - 8 %), pirita (hasta 20 %) y material carbonoso (5 - 6 %). El yacimiento Hierro Mantua (Cu  $\pm$  Au) se ubica en una secuencia de pizarras arcillosas y arcilloso – bituminosas, con calizas oscuras finas (a veces laminares) y areniscas.

En el Miembro Castellano ( $J_3^{ox}$ ), las pizarras del yacimiento Santa Lucía (Zn - Pb - Ag  $\pm$  Ba) tienen estructura esquistosa finamente laminada y contienen hidromicas, arcillas, pirita, calcita,

sustancia carbonosa y bitúmenes. Su contenido de carbonatos con frecuencia supera el 10 % y el de pirita globular diseminada llega hasta 10 - 15 %. En ellas son muy comunes las concreciones de caliza y dolomita, habiendo, en menor grado, cuarzo detrítico. Las calizas y dolomitas negras y gris oscuras forman horizontes discontinuos por el rumbo, de 0,05 a 0,5 m de espesor. En el yacimiento Castellano (Zn - Pb - Ag - Au  $\pm$  Ba), la secuencia encajante es de pizarras carbonosas hidromicáceas y limolitas carbonosas. Ellas son finamente laminadas y están compuestas por 75 - 95 % de hidromicas illíticas, con clorita, caolinita y probable montmorillonita, llegando en ocasiones a 30 - 60 % el contenido de carbonatos. Contienen intercalaciones de calizas de 0,1 a 1 m de espesor, las que aumentan hacia la parte superior del corte. El depósito Nieves (Zn - Pb - Cu - Ag - Au), por su parte, se halla en una secuencia de pizarras rítmicamente interestratificadas con limolitas y areniscas. Las limolitas son arcillo - carbonosas o calcáreas, presentando mineralización sulfurosa diseminada, principalmente pirítica. Las pizarras están compuestas por agregados clorítico - carbonosos y carbonoso - sericíticos, habiendo agregados fibroso - radiales de cuarzo con sombras de presión.

**Figura No 1. Mapa geológico esquemático de la parte occidental de la provincia Pinar del Río**



En el mapa se muestra la ubicación de los depósitos mencionados en el texto. Unidades litoestratigráficas del Terreno Guaniguano: ES: Fm Esperanza. CT: Miembro Castellano. SC: Fm San Cayetano (parte indiferenciada). AC: Fm. Arroyo Cangre. GS: Fm Guasasa. CZ: Unidades litoestratigráficas cenozoicas que no pertenecen al Terreno Guaniguano.

En la Fm San Cayetano (parte indiferenciada), del  $J_1 - 3$ , se encuentra el depósito Cándida (Cu - Zn  $\pm$  Au, Ag), en el cual aparecen areniscas cuarzosas estratificadas y masivas de grano fino a grueso, con intercalaciones de pizarras y limolitas. En la mina antigua se observan capas y paquetes de pizarras con concreciones calcáreo - arcillosas y arcillo arenosas, saturadas de pirita y enriquecidas en Zn con respecto a las areniscas, las que también están presentes, a veces en capas anchas. En el depósito Amistad (Zn - Pb - Ag), las pizarras arcillo - carbonosas tienen olor a bitumen, siendo las rocas negras finamente laminadas, formadas por limolitas. Los carbonatos están presentes entre los minerales de ganga de este depósito. En el yacimiento Matahambre (Cu) hay una secuencia arenosa con intercalaciones de limolitas y de pizarras negras a gris oscuras (Serie Matahambre) y otra arenoso - limolítica (serie Ruiseñor), consistente en una interestratificación de limolitas, areniscas y pizarras carbonosas. Las areniscas son cuarzo - feldespáticas, frecuentemente cuarzosas y con micas. Los minerales de ganga en este yacimiento son cuarzo, barita, calcita, siderita, apatito, circón, micas, materia orgánica y grafito.

### **Materia orgánica**

El conjunto de los datos recopilados muestra que las rocas de la Fm Esperanza contienen entre 5 y 30 % de sustancia carbonosa, Los contenidos reportados por diferentes autores para litologías pertenecientes a esta formación se exponen en la tabla I. Dentro de esta formación, Muliukov y Guzmán (1969), reportaron 1,1 % de Carbono Orgánico Total (COT) en las menas piríticas del yacimiento Hierro Mantua.

El Miembro Castellano es la unidad más estudiada en lo que a materia orgánica se refiere, particularmente en el área del Campo Mineral Santa Lucía - Castellano, debido a su relevante papel como secuencia hospedera de mineralización pirítico - polimetálica del tipo Sedex. Los contenidos de materia orgánica reportados, según estudios mineralógicos, para esta unidad se presentan en la tabla II. Existe una gradación en el contenido de materia orgánica en las calizas, reflejada en su color. Así las grises presentan contenidos bajos de sustancia carbonosa (1 - 5 %), mientras que las negras contienen 10 - 25 %. Las calizas dolomitizadas y dolomitas de color negro poseen de 15 a 30 % de sustancia carbonosa.

Para esta unidad litoestratigráfica, también existen reportes de contenido de materia orgánica expresada como Carbono Orgánico Total (COT). Así, Nanian et al, 1979 reporta 3 % de COT en las pizarras negras encajantes del yacimiento Castellano, Lobanov et al (1976) reporta 0,5 - 2,6 % de COT en las pizarras negras encajantes del yacimiento Santa Lucía y Mormil et al (1980) para la secuencia encajante de las menas pirrotínicas del yacimiento Nieves reporta 23,86 % de COT.

Un estudio detallado del comportamiento de la materia orgánica en los yacimientos Castellano y Santa Lucía, ubicados ambos dentro del mismo horizonte de pizarras, fue realizado por Lobanov et al (1976). En el yacimiento Castellano la secuencia superior presenta un COT medio de 0,3 % (0,1 - 0,7 %). Las rocas encajantes que contactan directamente con las menas (secuencia media) tienen de 1,4 a 3 % de COT, habiendo en una intercalación de pizarras negras dentro de la mena 2,3 % de COT. En estas rocas, el contenido de carbonatos oscila entre 5 % y 70 - 90 %. En la mena, el COT es de 0,6 %, siendo de 1,2 % en el techo del depósito y de 1,4 % en el piso del depósito (Lobanov et al, 1976).

**Tabla No I. Contenido de sustancia carbonosa en litologías de la Fm. Esperanza**

Litología	% de sustancia carbonosa	Fuentes
Calizas cristalinas	Hasta 30 %	Unión II, Barrios et al (1988)
Calizas dolomitizadas	12 %	
Pizarras negras	Hasta 30 %	
Pizarras arcilloso carbonosas	30 %	Unión I, García et al (1988)
Calizas recrystalizadas	7 %	
Calizas esquistosas	Hasta 30 %	
Calizas dolomitizadas	12 %	
Calizas encajantes de mena Juan Manuel	5 – 6 %	Unión I – Juan Manuel, Shigariev et al (1975)
Calizas oscuras	1 – 10 %	Hierro Mantua, Podkamenny y Guzmán (1971)
Pizarras carbonosas carbonatadas	10 – 30 %	
Calizas oscuras	1 – 15 %	Hierro Mantua, Muliukov y Guzmán (1969)
Calizas	1 – 10 %	Campo Mineral Santa Lucía - Castellano, Vershigora et al (1983)

**Tabla No II. Contenido de sustancia carbonosa en litologías del Mb. Castellano**

Litología	% de sustancia carbonosa	Fuentes
Pizarras carbonosas	5 – 7 %	Santa Lucía, Ovchinnikov et al (1993)*
Calizas negras	Hasta 25 %	
Calizas dolomitizadas y dolomitas	15 – 30 %	
Limolita cuarzosa	5 – 10 %	Sectores Baja, Veguita y La Vitrina, parte W Campo Mineral Santa Lucía – Castellano, Lara et al (1989)
Limolita cuarzo – carbonosa	Hasta 15 %	
Pizarra carbonosa	Hasta 30 %	
Calizas	Hasta 15 %	
Argilitas	10 %	Castellano, Díaz et al (1993)
Calizas carbonosas	10 %	Santa Lucía Este, Sánchez y Ortega (1988)
Pizarras negras	Hasta 35 %	Campo Mineral Santa Lucía – Castellano, Vershigora et al (1983)
Calizas grises	1 – 5 %	

\*Reportan además bitumen en todas las litologías señaladas.

Las pizarras negras portadoras de mena en el yacimiento Santa Lucía se destacan por la conservación de minerales arcillosos sin recrystalizar asociado al material carbonoso – bituminoso y por la escasa cantidad de material fragmentario presente (García et al, 1979). Estas pizarras, en todas sus variedades, presentan sustancia carbonosa, bitúmenes y sulfuros, con raras intercalaciones lenticulares de sustancia carbonosa, de 0,1 a 1 – 2 mm de espesor, que ocasionalmente alcanzan hasta 15 mm de potencia. La materia orgánica presente tiene las propiedades del carbón mineral y es muy frágil. Quemada al soplete, da coque de hulla y restos bituminosos (Yurpalov et al, 1972). Cinco muestras de bitumen presente en estas pizarras fueron analizadas, obteniéndose, según Yurpalov et al (1972), los resultados mostrados en la tabla III mediante la extracción sucesiva de bitumen en cloroformo (bitu 1) y en alcohol



bencénico (bitu 2). El contenido de materia orgánica en el yacimiento Santa Lucía se comporta como se muestra en la tabla IV, de acuerdo con los datos obtenidos por Lobanov et al, 1976. Los autores del presente trabajo detectaron la presencia de una manifestación superficial de hidrocarburos líquidos en las pizarras portadoras de mena en la cantera de este yacimiento.

**Tabla No III. Contenido de bitumen en el yacimiento Santa Lucía**

Pozo	Prof. (m)	Descripción de la roca	Bitu 1 (%)	Bitu 2 (%)
52	112,4	Hulla	0,03	0,02
52	145,2	Caliza carbonoso - arcillosa	0,03	0,01
52	165,3	Mena diseminada bandeada con intercalaciones de pizarras argilíticas	0.0001	0.0001
60	108,0	Pizarra carbonosa carbonático - argilítica	0.03	0.02
60	119,35	Mena pirítico – polimetálica masiva finamente bandeada	0.00001	0.00

**Tabla No IV. Contenidos de materia orgánica en el yacimiento Santa Lucía**

Secuencia / litología	% de COT
Secuencia portadora de mena	
- Pizarras negras	0,5 – 2,6
- Carbonatos	0,2 – 1,4
- Intercalaciones minerales de poca potencia	1,5
- Mena de base arcilloso - carbonosa	0,45
- Rocas laterales al piso del cuerpo 1	1,4
- Rocas laterales al techo del cuerpo 1	0,4

Como puede observarse en la tabla V, de las tres unidades litoestratigráficas principales portadoras de depósitos polimetálicos de la Zona Metalogénica Guaniguanico, la parte indiferenciada de la Fm. San Cayetano es la que menor contenido de materia orgánica presenta.

**Tabla No V. Contenido de sustancia carbonosa en litologías de la Fm. San Cayetano**

Litología	% de sustancia carbonosa	Fuentes
Pizarras carbonosas carbonatadas	10 %	Dora – Francisco, Blanes et al (1991)
Areniscas cuarzosas	5 %	
Pizarras carbonosas carbonatadas	5 %	Dora y Amistad, Novizky, 1964
Limolitas carbonosas	3 – 5 %	Vegueta II (sector Vegueta), Campo Mineral Santa Lucía – Castellano, Lara et al (1989)
Limolita – areniscas cuarzosas	1 – 2 %	
Limolita - argilitas	Hasta 7 %	
Pizarras	5 – 7 %	
Calizas	7 – 25 %	
Lentes de calizas	Hasta 20 %	Sector La Estrella, Puentes et al (1991)
Limolitas cuarzosas	10 – 15 %	

Para esta formación, en la secuencia infrayacente al yacimiento Castellano, Lobanov et al (1976) reportan 0,3 % de COT.



Los resultados de pirólisis Rock – Eval (Linares, 2002) indican, de modo general, que la materia orgánica en las formaciones Esperanza y San Cayetano (incluido el Miembro Castellano) es del Tipo III y II, teniendo un considerable grado de madurez. La presencia de hidrocarburos líquidos en la Fm. Esperanza y en el Miembro Castellano de la Fm. San Cayetano es demostrada por la existencia de varias manifestaciones superficiales y de pozos, incluida una en la cantera del yacimiento polimetálico Santa Lucía (Lobanov et al, 1976, Linares et al, 2002 y este trabajo).

La relación isotópica de  $\delta^{34}\text{S}$  en las menas del yacimiento Santa Lucía, reportada por García et al (1979), oscila entre -5,9 y -32,8 ‰, predominando los valores fuertemente negativos. Ello indica un origen biogénico para el S presente en sus menas. Estos resultados fueron corroborados por Valdés et al (1993), quienes reportan un valor de  $\delta^{34}\text{S}$  en pirita de -27,5 ‰ (CDM). Lo anterior está en concordancia con la presencia en el mismo de abundante pirita framboidal. Por otra parte, los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  determinados en 1980 en muestras procedentes del yacimiento Castellano (Aniatov et al, 1983), mostraron un amplio rango de dispersión, predominando valores del orden de -25 ‰, indicativo de que también en este depósito el S biogénico jugó un importante papel en la formación de las menas.

## DISCUSIÓN

La relación entre materia orgánica, hidrocarburos y depósitos minerales metálicos está ampliamente documentada en la literatura, particularmente para los depósitos de Hg, los de Pb - Zn tipo MVT, los de Au microdisperso tipo Carlin y los polimetálicos del tipo Sedex.

La descripción generalizada de los sistemas minerales del Terreno Guaniguanico permite un acercamiento a la relación entre depósitos polimetálicos e hidrocarburos. Un sistema mineral es un conjunto de elementos y procesos geológicos espacial y temporalmente relacionados, que dan lugar a la formación de un depósito (o conjunto de ellos). Sus partes principales son: fuente de metales, vías de migración, fluidos transportadores de metales y otros compuestos, sitio de deposición de mena y fuente de energía (calor) del sistema. Este concepto es equivalente al de sistema petrolífero y su filosofía geológica es la misma. Los sistemas minerales formadores de menas pirítico – polimetálicas, esencialmente singenéticas, del Terreno Guaniguanico, vistos de conjunto, están estructurados de la siguiente forma:

**Fuente de metales:** Paquete sedimentario del Sinrift y magmatismo básico de margen continental. Los metales fueron aportados principalmente por los sedimentos acumulados en la cuenca sedimentaria, de los cuales fueron lixiviados por fluidos de cuenca, progresivamente calentados por el gradiente geotérmico anómalo producido por la actividad magmática profunda. Esto es apoyado por el hecho de que el conjunto de secuencias que componen el Terreno Guaniguanico presentan altas concentraciones geoquímicas regionales de Cu, Co, Pb, y Zn. Posiblemente una parte del Fe tiene similar origen. La actividad magmática básica, por otra parte, pudo aportar una parte significativa del Fe y Co.

**Vías de migración:** Fallas distensivas de rumbo NW a N de gran amplitud cortical, por la que ascendieron los fluidos mineralizados cálidos.

**Fluidos transportadores de metales:** Fueron fluidos reducidos y ácidos, de temperatura más bien baja los que transportaron Pb, Zn y Ag y más alta los que condujeron el Cu (y posiblemente el Au) hasta los sitios de deposición.

**Sitios de deposición de mena:** Secuencias ricas en materia orgánica (COT > 1 %) compuestas generalmente por litologías de granulometría fina (pizarras arcilloso –

hidromicáceas, calizas, dolomitas y limolitas), las cuales contienen cantidades significativas de carbonatos.

**Fuente de energía:** Magmatismo básico profundo asociado con la riftogénesis y el desarrollo inicial del margen continental. La actividad ígnea básica somera constituyó una fuente local suplementaria de calor para el proceso de formación de mena.

### El papel de los carbonatos

De estos sistemas minerales, los sitios de deposición de mena y las fuentes de calor son los aspectos más interesantes a tratar aquí. Con relación al primero de los rasgos del sitio de deposición de mena, se tiene, en forma general, que una secuencia se reconoce como rica en materia orgánica cuando presenta 1 % o más en peso de carbono orgánico total (Tourtelot, 1979). Los resultados de las determinaciones de COT realizadas mediante pirólisis Rock - Eval obtenidos por el CEINPET (Linares 2003, comunicación escrita) indican que las unidades litoestratigráficas del Terreno Guaniguanico Artemisa, Santa Teresa, San Vicente, Francisco, Miembro El Americano de la Fm. Guasasa, Miembro Castellano de la Fm San Cayetano y la parte indiferenciada de la Fm. San Cayetano cumplen esta condición. Esto es apoyado también por los contenidos de COT determinados en los yacimientos Santa Lucía, Castellano (Lobanov et al, 1976, Nanian et al, 1979), Hierro Mantua (Muliukov y Guzmán, 1969) y Nieves (Mormil et al, 1980).

Las dos últimas características señaladas del sitio de deposición de mena son las que distinguen definitivamente los sitios efectivos de acumulación de sulfuros masivos singenéticos del resto de la secuencia potencialmente favorable dentro de la cual se localizan. En estos lugares el carbonato aparece en la composición de los clastos y/o en la del cemento que los une. Se estima, sobre la base de los datos reunidos, que su contenido (carbonatosidad) debe ser no inferior al 15 - 20 % para que en ellos se produzca el proceso de acumulación de mena pirítico – polimetálica masiva. En caso contrario, solo aparece una mineralización diseminada pobre. Igualmente, la presencia de carbonatos en las areniscas favorece el desarrollo de las menas cupríferas.

La explicación de la formación de menas de sulfuros masivos sedimentarios en los sitios que reúnen las características señaladas se relaciona con el papel de los carbonatos en la formación de la porosidad secundaria necesaria para la circulación dentro de las secuencias carbonosas de granulometría fina de los fluidos hidrotermales mineralizados. Valladares et al (2003) plantean que durante la diagénesis, la calcita y la dolomita rellenan poros, grietas y espacios vacíos en las secuencias sedimentarias, reduciendo la porosidad primaria de la misma. Posteriormente, los fluidos ácidos acompañantes del petróleo la disuelven, desarrollando la porosidad secundaria requerida para que la roca pueda constituir un reservorio de hidrocarburos. A este último proceso, según los autores citados, también contribuye la recristalización, pues la misma favorece la fracturación de las rocas. Como se ha expuesto anteriormente, los fluidos portadores de metales, que dieron lugar a los depósitos pirítico – polimetálicos del Terreno Guaniguanico, eran reducidos y ácidos. En virtud de esta última característica, los mismos disolvieron la calcita y dolomita arriba mencionadas, creando la porosidad secundaria requerida para su interacción con las rocas encajantes. Es decir, los carbonatos permiten la creación de las condiciones de permeabilidad necesarias en el medio portador de mena para que el proceso de precipitación de minerales metálicos tenga lugar intensamente. Segura Soto et al (2003) señalan que las secuencias terrígenas con intercalaciones carbonatadas son las más favorables para este proceso, estando esta

característica presente fundamentalmente en la Fm Esperanza y en el Miembro Castellano de la Fm San Cayetano.

Los datos mineralógicos parecen apoyar lo arriba planteado. Así, en el yacimiento Castellano se observa en el estadio temprano de mineralización dolomita normal y ferrosa rodeando a los cristales y agregados de calcita primaria sedimentaria. En el yacimiento Santa Lucía predomina la variedad carbonatado - sulfurosa de mena, con presencia de carbonatos ferruginosos. En los depósitos Sur y La Esperanza aparecen calcita y dolomita desde el inicio del estadio pirítico temprano. Nieves presenta igualmente carbonatos desde el comienzo del estadio pirítico – polimetálico temprano. En los depósitos Unión I, II y Juan Manuel aparece calcita asociada con la pirita I. Los resultados obtenidos por Lobanov et al (1976) sobre la presencia de carbonatos (carbonatosidad) en las pizarras portadoras de mena también revisten gran interés. Así, en el yacimiento Castellano las rocas encajantes al techo del depósito tienen una carbonatosidad del 23 %, siendo del 70 % en las rocas encajantes al piso. En el yacimiento Santa Lucía los autores citados obtuvieron los resultados mostrados en la tabla VI.

**Tabla No VI. Carbonatosidad en el yacimiento Santa Lucía (tomado de Lobanov et al, 1976)**

<b>Secuencia /Litología</b>	<b>Carbonatosidad (%)</b>
Secuencia supramineral	6 – 25
Secuencia encajante:	
Pizarras carbonosas	12
Carbonatos	66 – 89
Intercalaciones minerales de poca potencia	32
Menas de base arcillo - carbonosa	18 – 57
Rocas laterales al piso del yacimiento	68
Rocas laterales al techo del yacimiento	20
Secuencia Inframineral	17 – 23

Es de notar que en ambos yacimientos, las rocas encajantes al piso presenta un contenido mayor de carbonatos que las encajantes al techo, siendo el mismo bastante superior a la media registrada en el corte geológico del yacimiento Santa Lucía (secuencias supramineral, inframineral y pizarras carbonosas en la tabla VI). El contenido de carbonatos en las menas de Santa Lucía, como puede apreciarse en la mencionada tabla, aunque no alcanza el valor reportado para las rocas encajantes a su piso, es mayoritariamente superior al contenido medio del corte sedimentario dentro del cual se localizan.

El examen de la petrografía de las rocas portadoras y encajantes de mena de los principales depósitos pirítico – polimetálicos del Terreno Guaniguanico muestra que las secuencias portadoras de menas polimetálicas se componen de pizarras y limolitas carbonosas finamente estratificadas, con intercalaciones de calizas y dolomitas. Los carbonatos están representados por calcita, dolomita y siderita. También aparecen areniscas calcáreas, cuarzo – feldespáticas y cuarzosas. Las pizarras y limolitas suelen contener menas pirítico - polimetálicas, mientras que las areniscas hospedan básicamente menas cupríferas.

Todo lo anterior sugiere que el contenido de carbonatos en las secuencias terrígenas y terrígeno – carbonatadas del Terreno Guaniguanico juega un importante papel en el control litológico de la mineralización pirítico – polimetálica, siendo su distribución, en combinación con la de la granulometría fina, la que define y delimita los sitios efectivos de acumulación de mena dentro de las secuencias favorables que integran esta unidad metalogénica.

Swager (1985), reporta que las rocas portadoras de mena de Pb – Zn del yacimiento Mount Isa (Australia) se componen de mica y dolomita, con subordinadas cantidades de cuarzo y feldespato, oscilando el contenido de carbonatos entre 20 y 75 %. Las rocas portadoras de los cuerpos minerales cupríferos de este yacimiento son lutitas silíceo – dolomíticas y dolomíticas. Por otra parte, las rocas portadoras de mena en el yacimiento HYC (Australia) son litofangos carbonoso – piríticos con 1 – 40 % de carbonatos (Large, Bull y McGoldrick, 2000). Estos autores señalan así mismo que la mineralización de baja ley en este yacimiento se asocia generalmente con intervalos en los que el contenido de carbonatos es inferior al 10 %. Estos datos parecen apoyar lo planteado aquí acerca del papel de los carbonatos en el control litológico de las menas polimetálicas singenéticas.

La similitud físico – química entre los fluidos meníferos hidrotermales y los fluidos acompañantes del petróleo (reducidos y ácidos en ambos casos), sugiere un comportamiento similar ante los carbonatos. En ambos casos, las consecuencias de la interacción fluido – roca en lo que a la generación de porosidad secundaria deben ser semejantes. Esto implica que la proporción entre el contenido de carbonatos y el de arcillas puede determinar si horizontes y capas terrígenas como las de la Fm. San Cayetano se comportan con relación a los hidrocarburos como sello o como reservorio. Lo anterior permite sugerir para secuencias de composición litológica y granulometría similar a las portadoras de mena en los yacimientos Santa Lucía y Castellano un umbral crítico de 15 a 20 % de carbonatosidad.

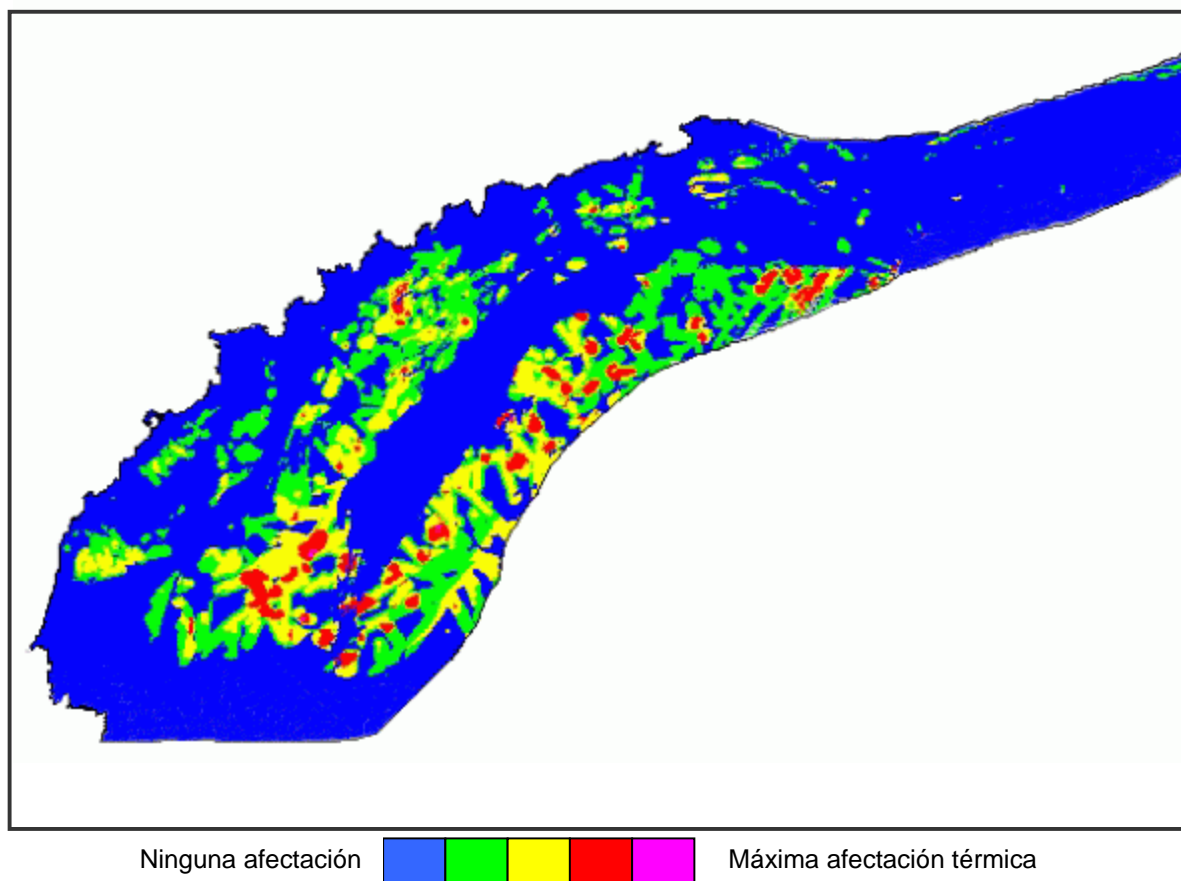
### **Actividad magmático – hidrotermal y maduración**

En cuanto a las fuentes de calor, hay que señalar que la presencia de magmatismo básico de margen continental, asociado a un régimen geotectónico distensivo, no es un rasgo particular del Terreno Guaniguano. El mismo ha sido reportado en Cuba en el Terreno Escambray y en el margen continental del bloque Bahamas – Florida (Iturralde – Vinent, 1996b). Este tipo de magmatismo es en realidad bastante común en los márgenes continentales (White, 1992). La presencia de esta actividad magmática y de la hidrotermal (proximal y distal) asociada, como es sabido, influye en el grado de madurez de la materia orgánica de las secuencias sedimentarias coetáneas, afectadas en mayor o menor grado por la misma. En el caso del Terreno Guaniguano, esta actividad fue significativa durante el Jurásico y la parte más baja del Cretácico Inferior. Por ello, el aporte de dicha actividad a la maduración de la materia orgánica fue importante, al menos en parte de las secuencias terrígenas y terrígeno - carbonatadas de esas edades presentes en la región occidental de Cuba.

Resulta de gran interés, tanto para depósitos polimetálicos como para hidrocarburos, la conjugación de los resultados de la geoquímica orgánica con los de los estudios metalogénicos a la hora de interpretar su significado geológico. Así, en Pinar del Río, el examen de los resultados de la evaluación del potencial de recursos de menas pirítico – polimetálicas y cupríferas en el Terreno Guaniguano (Torres et al, 2004) muestra que el área afectada por la actividad metalogénica constituye alrededor del 25 % del total de este terreno (figura No 1), aunque con una distribución muy desigual.

Como puede observarse en la figura No 2, el área afectada es muy pequeña en la Sierra del Rosario, mientras que en las Alturas Pizarrosas del Norte y del Sur, así como a lo largo de la costa norte de la mitad occidental de la provincia Pinar del Río, hay un elevado porcentaje de áreas considerablemente afectadas por esta actividad. Esto indica que un volumen de rocas sedimentarias ricas en materia orgánica considerable sufrió durante el Jurásico e inicios del Cretácico Inferior la acción de un gradiente geotérmico anómalamente alto.

**Figura No 2. Mapa del grado de afectación térmica de las secuencias del Terreno Guaniguanico asociado a la actividad metalogénica**



El mapa muestra el grado de afectación por gradientes térmicos anómalos experimentado por las secuencias del Terreno Guaniguanico durante el Jurásico y la parte más baja del Cretácico Inferior. Las secuencias más afectadas por el calor endógeno y la actividad hidrotermal exhalativa asociada fueron las del sinrift.

De este modo, el empleo de los mapas de potencial de recursos para menas polimetálicas en regiones con secuencias ricas en materia orgánica permite juzgar sobre que localidades y secuencias en el territorio estudiado pueden ser representativas de la historia de enterramiento y cuales no. Esto, por si solo, constituye una información de gran valor. Además hace posible adquirir una imagen más abarcadora de la evolución geológica de la cuenca sedimentaria y de los procesos que en ella han actuado.

Por otra parte, la posibilidad de utilizar los resultados de la pirólisis Rock-Eval, especialmente el Índice de Hidrógeno (HI), como guía para la prospección de depósitos minerales metálicos ciegos hospedados en secuencias sedimentarias ricas en materia orgánica, ya ha sido señalada por Ilchik, Brimhall y Schull (1996). Su utilidad para este fin radica en la elevada sensibilidad de los compuestos orgánicos a la acción de los incrementos de temperatura, mucho mayor que la de los compuestos minerales inorgánicos (minerales de alteración). Así mismo, Bloomstein y Clark (1991) indican que una fuerte maduración térmica de la materia orgánica puede proveer alta capacidad de sorción para precipitar Au desde las soluciones hidrotermales. Esto ultimo parece ser apoyado por la presencia de contenidos significativos de Au en varios depósitos



pirítico – polimetálicos de la región (Castellano, Nieves y Hierro Mantua entre otros) y por el alto grado de madurez de la materia orgánica de las secuencias sedimentarias de este terreno (Linares, 2002). Adicionalmente, Lefebure y Ray (1995) reportan la asociación de anomalías de metano con depósitos polimetálicos del tipo exhalativo – sedimentario, lo cual sugiere que la cartografía de las anomalías de metano también puede ser útil para la prospección de depósitos minerales metálicos hospedados en secuencias ricas en materia orgánica.

El conjunto de hechos analizados aquí demuestran, en última instancia, que la formación de depósitos pirítico – polimetálicos y la generación de hidrocarburos (y la subsiguiente formación de depósitos de petróleo y gas) son las dos caras de un mismo proceso geológico. Ambas caras están tan indisolublemente ligadas entre sí como el anverso y el reverso de una moneda a lo largo de la formación, desarrollo y evolución de las cuencas sedimentarias.

## CONCLUSIONES

Las secuencias ricas en materia orgánica del Terreno Guaniguanico, perteneciente al sinrift y a la parte más inferior del postrift, son portadoras de depósitos de Zn, Pb, Cu, Ag, Au y Co. También ellas son generadoras de hidrocarburos. Las mismas son terrígenas y terrígeno – carbonatadas, siendo frecuente la presencia de carbonatos en mayor o menor cantidad (representados por calcita, dolomita y siderita).

El contenido de carbonatos en las secuencias terrígenas y terrígeno - carbonatadas es un importante controlador en la ubicación y delimitación espacial de los sitios de acumulación de mena dentro de las secuencias favorables. Igualmente, es probable que constituyan un importante factor en la modulación del comportamiento de estas secuencias como sello o como reservorio con relación a los hidrocarburos. Otros factores controladores importantes son, en ambos casos, el porcentaje de minerales arcillosos presentes y la granulometría de los sedimentos.

La materia orgánica que contienen estas secuencias es carbonoso – bituminosa, de los tipos II y III, oscilando su contenido (según estimados mineralógicos) entre 5 y 35 % en volumen. La misma aparece diseminada en las rocas o formando laminillas interestratificadas y presenta un grado considerable de madurez. Ella jugó un importante papel en la formación de los depósitos polimetálicos estratiformes al establecer un ambiente físico – químico reductor y condicionar el carácter reducido de los fluidos mineralizantes. Así mismo, su presencia abundante permitió la acumulación del S biogénico que intervino en la formación de los mencionados depósitos.

Los resultados de los estudios metalogénicos pueden ser utilizados para lograr una mejor separación de las localidades cuyos valores de maduración son representativos de la historia de enterramiento de aquellas influenciadas adicionalmente por la actividad magmática e hidrotermal. Así mismo permiten juzgar sobre la magnitud de dicha actividad e identificar las áreas de la cuenca sedimentaria afectadas por la misma. Igualmente, las variaciones espaciales del grado de maduración de la materia orgánica pueden ser empleadas como guía de exploración para la prospección de depósitos polimetálicos estratiformes ciegos, particularmente mediante el empleo del índice de Hidrógeno (HI). También pueden utilizarse con el mismo fin las anomalías de metano.

La conjugación, con un enfoque geológico integrador, de los resultados de las investigaciones metalogénicas con los de las orientadas a la evaluación de las perspectivas para hidrocarburos constituye una herramienta muy útil para el desarrollo de la Geología. La misma permite una



comprensión más integral de la evolución geológica de las cuencas sedimentarias y una mejor evaluación de su potencial metalífero y petrolífero. En este sentido debe tenerse en cuenta la magnitud y la distribución espacio – temporal de la actividad magmático – hidrotermal y de las litologías afectadas por ella al estudiar la evolución de una cuenca sedimentaria y evaluar sus posibilidades para hidrocarburos. Igualmente, deben emplearse la geoquímica orgánica y los estudios petrográficos para la evaluación de su potencial metalífero.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aniatov, I., R. M. Lavandero, 1983. Capacidad Menífera del complejo carbonatado - terrígeno del Jurásico – Cretácico Inferior de Cuba Occidental. Serie Geológica (2): 19 – 47.
- Blanes, J. A., E. L. Valdés, O. Chávez, J. A. Chang, 1991, Informe de los resultados del trabajo temático – productivo revisión de las minas antiguas Dora y Francisco (Cuba). Inédito.
- Bloomstein, E. I., Clark, J. B., 1991. Geochemistry of the Ordovician high – calcium black shales hosting major gold deposits of the Getchell Trend in Nevada. Metalliferous black shales and related ore deposits – proceedings, 1989 United States Working Group Meeting, International Geological Correlation Program Project 254. Grauch R. I. And Holly L.O. Huyck Eds: US. Geological Survey Circular 1058: 1 – 5.
- Cobiella, J. L., 2003. Estratigrafía mesozoica de Cuba Occidental (Cordillera de Guaniguanico). Implicaciones para el sureste del Golfo de México. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias Trabajos y Resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica. La Habana. ISBN 959-7117-11-8
- Díaz A., A. Prieto, A. Barzana, C. Padrón, E. Borges, A. Salinas, R. Fernández, F. Cabrera, J. Guerra, M. Izquierdo, 1993. Informe evaluación orientativa de Cobre Castellano (Cuba). Inédito.
- García, D., S. Gil, R. Delgado, G. Millán, L. L. Peñalver, M. Cabrera, R. Denis, J. L. Chang, M. Fuentes, C. Díaz, V. Suárez, A. I. Llanes, R. Pérez, M. Torres, C. Pérez, L. Díaz, 2003. Generalización y actualización geológica de la provincia de Pinar del Río (Cuba). Inédito.
- García, L., N. Escalona, G. Seisdedos, 1979. Exploración detallada del flanco NE del yacimiento Santa Lucía, Pinar del Río (Cuba). Inédito.
- Ilchik, R. P., Brimhall, G. H., Schull, H. W., 1996. Hydrothermal maturation of indigenous organic matter at the Alligator Ridge gold deposits, Nevada. Economic Geology, 81 (1): 113 – 130.
- Iturralde – Vinent, M. A. 1996a. Introduction to cuban geology and tectonics. Cuban ophiolites and volcanic arcs. Iturralde-Vinent, M.A. (ed). IUGS/UNESCO International Geological Correlation Programme. Project 364: Geological correlation of ophiolites and volcanics arc terranes in the circum – Caribbean realm. Special Contribution (1): 3 - 35.
- Iturralde - Vinent, M. A., 1996b, Magmatismo de margen continental en Cuba. Cuban ophiolites and volcanic arcs. Editado por M.A. Iturralde - Vinent. IUGS/UNESCO International Geological Correlation Programme. Project 364: Geological correlation of ophiolites and volcanics arc terranes in the circum – Caribbean realm. Special Contribution (1):121 – 130.
- Lara, J., M. Izquierdo, C. Padrón, N. Martínez, R. Córdova, 1989. Informe sobre los resultados de la búsqueda evaluativa de sulfuros en los sectores Baja – Veguita – La Vitrina, dentro del campo mineral Santa Lucía – Castellano (Cuba). Inédito.
- Large, R. R., S. W. Bull, P. J. McGoldrick, 2000. Lithogeochemical haloes and geochemical vectors to stratiform sediment hosted Zn - Pb - Ag HYC Deposit, Mc Arthur River, Northern Territory. Journal of Geochemical Exploration, 68 (1 – 2): 105 - 126.
- Lefebure, D. V., Ray, D. G., editors, 1995, Select British Columbia mineral deposit profiles. Volume I – Metallics and Coal. British Columbia Ministry of Energy of Employment and Investment (Canada). Open File 1995 – 20.

- Linares, E., 2002. Comparación entre las secuencias mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba central y occidental. Significado para la exploración petrolera. Tesis de grado en Opción al grado de Doctorado en Ciencias Geológicas. Centro de Investigaciones del Petróleo e Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (Cuba).
- Linares, E., 2003. Comparación entre las secuencias mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba central y occidental. Significado para la exploración petrolera. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias Trabajos y Resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica (La Habana, Cuba). ISBN 959-7117-11-8.
- Lobanov, P., A. Zhidkov, M. Estrugo, G. Vavilov, V. Shelagurov, J. Ruizhkov, 1976. Informe sobre la exploración preliminar del yacimiento pirito – polimetálico Castellano durante los años 1972 – 74 con el cálculo de reservas según estado el 1 – 1 – 75 (Cuba). Inédito.
- Millán, G., 2003. Algunas consideraciones sobre la tectónica de Cuba Occidental (provincia Pinar del Río). V Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias Trabajos y Resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica (La Habana, Cuba). ISBN 959-7117-11-8.
- Mormil, S.; A. Norman, A. Varvarov, V. Skosiriev, E. Linares, F. Vergara, 1980. Geología y Metalogenia de la provincia de Pinar del Río (Cuba). Inédito.
- Muliukov, E. M., I. V. Guzmán, 1969. Informe de los trabajos geológicos realizados en el yacimiento Hierro con el cálculo de reservas según su estado para el 1 - VII- 1969 (Cuba). Inédito.
- Nanian, B., O. Illing, M. Estrugo, N. Escalona, L. Díaz, M. Valdivia, I. Ayata, 1979. Informe sobre los trabajos de búsqueda y búsqueda evaluativa en el campo mineral Santa Lucía – Castellano (Sector Sur, Este y Oeste) y parte de los flancos de este yacimiento durante los años 1973 – 1979 (Cuba). Inédito.
- Novizky, V., 1964. Informe sobre los trabajos de exploración geológica efectuados en 1962 – 1963 en la zona de Mina Dora y el cálculo de reservas de los yacimientos Dora y Amistad en la zona Matahambre, provincia de Pinar del Río (Cuba). Inédito.
- Ovchinnikov, V., M. Robaina, A. Hernández, M. Valdivia, A. Rodríguez, A. Salinas, R. Fernández, N. Estrada, A. Martínez, 1993. Informe sobre los resultados de la exploración detallada del yacimiento pirítico – polimetálico Santa Lucía en la provincia Pinar del Río, realizados durante los años 1982 – 1987 con el cálculo de reservas hasta el 1 de Diciembre de 1993 (Cuba). Inédito.
- Podkamenny, A., L. Guzmán, 1971. Informe de los resultados de los trabajos de búsqueda y búsqueda – exploración en la región del yacimiento Hierro (Cuba). Inédito.
- Puentes, R., J. V. Pedraza, A. M. Barrios, J. A. Castañeda, A. Valido, A. Salinas, E. Rodríguez, R. González, D. Díaz, J. Guerra, S. Solier, R., Barrios, N. Hernández, J. L. Hernández, J. L. González, 1991. Informe prospección preliminar de Cu en las Alturas Pizarrosas del Norte (Cuba). Inédito.
- Sánchez, J. L., J. A. Ortega, 1988. Informe búsqueda detallada para barita en los sectores Este y Baritina (Cuba). Inédito.
- Segura, R., M. Rodríguez, R. García, 2003. Los depósitos syn-rift en el pozo Los Arroyos 1. ¿Reservorios?. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias Trabajos y Resúmenes. Centro Nacional de Información Geológica (La Habana, Cuba). ISBN 959-7117-11-8.
- Shigariev, V., M. Blazheiev, V. Kozulin, G. Vavilov, V. Shelagurov, M. Fajardo, H. Sinobas, 1975. Informe sobre los resultados de los trabajos de búsqueda compleja a escala 1:10000 en el campo mineral Unión y en el flanco NW del yacimiento Hierro realizados en los años 1972 – 74 (Cuba). Inédito.
- Swager, C. P., 1985. Syndeformational Carbonate-Replacement Model for the Cooper Mineralization at Mount Isa, Northwest Queensland: A microcrestructural Study. *Economic Geology*, 80 (1): 107-125.

- White, R. S., 1992. Crustal structure and magmatism of North Atlantic Continental margins. *Journal of the Geological Society (United Kingdom)*, 149 (5): 841 – 854.
- Tourtelot, H., 1979. Black shales – Its deposition and diagenesis: *Clays and clays minerals*, 27 (5): 313 – 321.
- Valdés, E. L., A. Díaz, J. F. Davies, R. E. Whitehead, L. Fonseca, 1993. Cogenetic Sedex Zn-Pb and stockwork copper ores, Western Cuba. *Exploration Mining and Geology*, 2 (4): 297 - 305.
- Valladares, S., R. Segura, J. Álvarez, O. Castro, B. Villavicencio, M. Rodríguez, O. López, A. Sorá, S. Toucet, S. López, 2003. Identificación de reservorios y sellos en la ZEE de Cuba en el Golfo de México. Comparación con los Conocidos en Cuba y el SE del Golfo de México. V Congreso Cubano de Geología y Minería. *Memorias Trabajos y Resúmenes*. Centro Nacional de Información Geológica (La Habana, Cuba). ISBN 959-7117-11-8.
- Vershigora, N., A. Prianjin, N. A. Fernández, Y. Karpov, R. Fernández, L. Oubiña, J. Castañeda, T. Ayata, M. Valdivia, J. R. Rosas, A. Klimov, L. Kranin, N. Escalona, L. Santamaría, A. Kumalakov, D. Konoplin, 1983. Informe de búsqueda a escala 1:10000 realizada en el campo mineral Castellano – Santa Lucía (Cuba). Inédito.
- Yurpalov, G., M. Zamaschikov, V. Sedov, S. Antoneev, V. Shulzhenko, Y. Anisimov, 1972. Informe con el cálculo de reservas de las menas de plomo – zinc del yacimiento Santa Lucía según los trabajos de exploración geológica realizados en 1969 – 1972 (Cuba). Inédito.

## **SOBRE LA MINERALOGÍA, LA PETROLOGÍA Y LA GÉNESIS DEL PILAR, UN SECTOR DE MINERALIZACIÓN EPITERMAL AURÍFERA EN EL ARCO VOLCÁNICO CRETÁCICO CAMAGÜEYANO**

**María Santa Cruz Pacheco, Lilavatti Díaz de Villalvilla, Carbeny Capote, Deysy De la Nuez Colón.**

*Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril s/n CP 11000; e. mail: [maría@iacemi.cu](mailto:maría@iacemi.cu)*

### **RESUMEN**

El sector forma parte de la ocurrencia más occidental de la mineralización epitermal detectada en el arco camagüeyano. Se encuentra dentro de la Fm. Caobillas (Cretácico superior Coniaciano (?) –Campaniano (?)), en flujos piroclásticos riolito-dacíticos y andesíticos y, con menor importancia, en lavobrechas andesíticas y lavas dacíticas.

El control estructural está ejercido por fallas anulares y rectilíneas sin-arco, estas últimas de direcciones NE, WNW y, probablemente, N-S. Los minerales de alteración más desarrollados en la zona son: cuarzo-sericita-minerales arcillosos-hidromicas-goethita, atribuidos a la zona argílica intermedia. Sin embargo, la presencia de la asociación enargita-covelina-pirita-telururo sugiere la relación con la zona argílica avanzada que contiene minerales típicos como la alunita.

La mineralización metálica está constituida fundamentalmente por pirita, en menor proporción por calcopirita, y raramente por calcosina, covelina, enargita, oro nativo, krennerita, aurocuprita y limonita (goethita, hematita).

En la mineralización hubo, al menos, tres eventos: un primer pulso hidrotermal, con diseminados de sulfuros, principalmente pirita, asociados a las alteraciones de la roca de caja; un segundo pulso hidrotermal, caracterizado por la asociación más importante: enargita-covelina-pirita-oro-telururo; y la fase hipergénica, representada por calcosina, goethita y hematita.

La forma más abundante de oro es la nativa, ocurriendo en diseminaciones con tendencias alargadas y dimensiones que, según las observaciones microscópicas practicadas, son del orden de los 0.0n hasta 0.00n de mm.

### **ABSTRACT**

The sector belongs to western deposits of epithermal mineralization detected into Camagüey arc. It is located into Caobillas Formation (Upper Cretacic Coniacian (?) – Campanian (?)), in rhyodacitic and andesitic pyroclastic flow rocks and, secondly, in andesitic lava-breechas and dacitic lavas.

Structural control is developed by syn-arc ring and rectilinear NE, WNW and, probably, N-S faults. More frequent alteration minerals are: quartz-sericite-clay minerals-hydromicas-goethite, attributed to middle argillic zone. However, the presence of enargite-covellite-pyrite-telururum metallic association suggests the relationship with advanced argillic zone containing typical minerals as allunite.

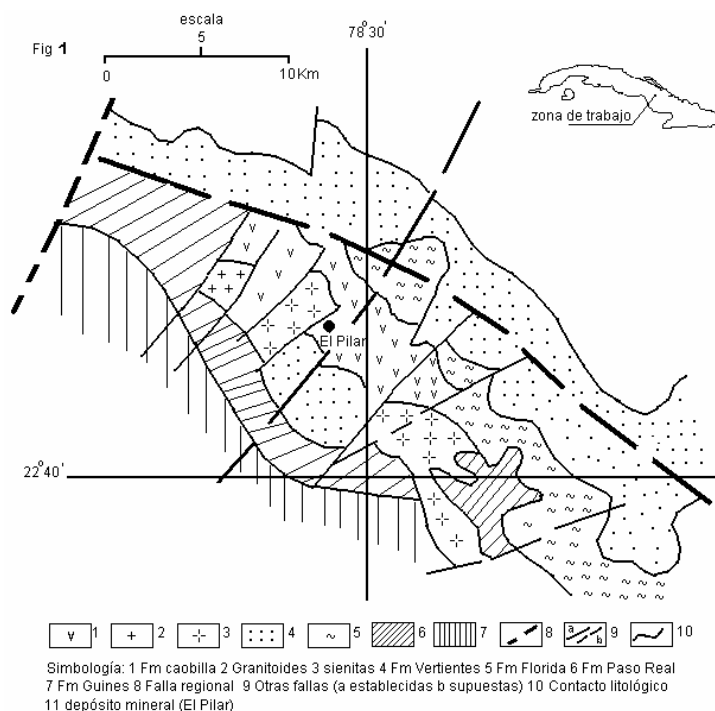
The metallic mineralización is constituted mainly by pyrite, in less quantity by chalcopyrite, and rarely by chalcocite, covellite, enargite, native gold, krennerite, auricupride and limonite (goethite, hematite).

The mineralization process had, at least, three different events: a first hydrothermal pulse, with sulfide disseminations, mainly pyrite, related to country rock alterations; a second pulse is characterized by the most important association: enargite-covellite-pyrite-gold-telururum; and, finally, it occurred the hypergenic phase, represented by chalcocite, goethite and hematite.

The most abundant form of gold occurrence is the native one, happening in disseminations with lengthened tendencies and dimensions that, according to the practiced microscopic observations, range from 0.0n to 0.00n mm.

## INTRODUCCIÓN

El sector de mineralización aurífera El Pilar se encuentra ubicado a 3 km al NE del poblado Gaspar, provincia de Ciego de Ávila (fig 1). Junto con los vecinos sectores San Nicolás y Sin Nombre, fue localizado por Lugo et al. (1988), posteriormente, en 1997, San Nicolás y El Pilar fueron sometidos por parte de la KWG a trabajos prospectivos más detallados.



Vista aérea del sector El Pilar.



## OBJETIVOS

La determinación de la composición mineralógica de la mineralización, con énfasis en el oro (tamaño, forma entrecrecimiento) así como las particularidades de las secuencias encajantes y las alteraciones circunmeníferas. De esta forma se pretende contribuir a un mejor diseño del cálculo de reservas y del proceso de beneficio así como al diagnóstico regional de este depósito.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El método investigativo se basa en el muestreo selectivo de fragmentos de núcleos de pozos y sedimentos de pozos de circulación inversa, así como en estudios minerográficos, mineralógicos y petrográficos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mineralización se relaciona con facies piroclásticas – volcánicas de composición ácida – media.

Petrográficamente, las rocas del sector están constituidas por flujos piroclásticos riolito – dacíticos y andesíticos representadas por tobas de diferente granulometría, desde muy finas hasta lapillicas, en general con componente vítreo, fundamentalmente soldadas y en algunos intervalos como ignimbritas. Con intercalaciones de flujos de lavas con fragmentos (lavobrechas) de composición andesítica y lavas dacíticas.

De acuerdo con Peczerillo y Taylor, 1976, (fig 2) la formación Caobilla presente características referibles a las series calcoalcalina (CA) y toleítica (TH). También considerando las relaciones  $\text{FeO}^+/\text{MgO}$  vs  $\text{SiO}_2$  en el diagrama de Miyashiro 1974 (fig.3) se observa que la formación esencialmente CA con cierto carácter TH.

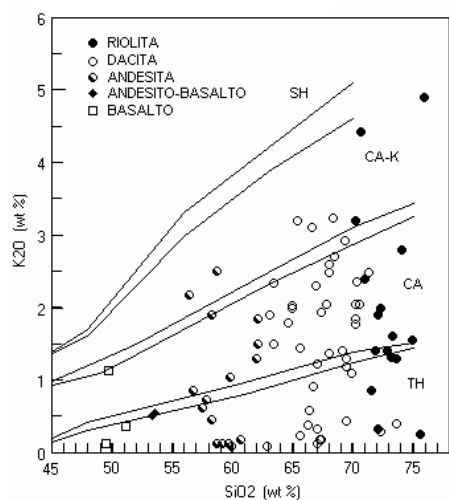


Fig. 2 Fm. Caobilla Peczerillo y Taylor, 1976

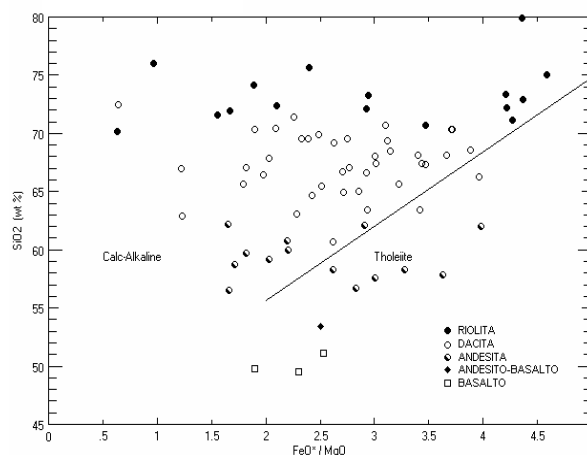
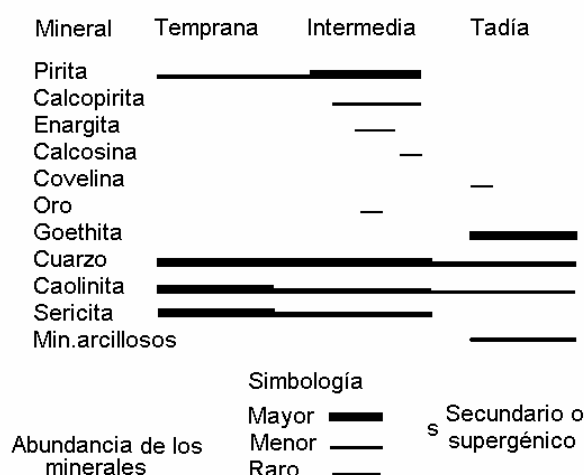


Fig. 3 Fm. Caobilla Miyashiro, 1974



Los minerales de alteración más desarrollados en estos pozos son: cuarzo-caolinita-sericita-minerales arcillosos-hidromicas-goethita, atribuidos en parte a la zona argílica intermedia. Sin embargo, la presencia de la asociación pirita - calcopirita - enargita – covelina - oro sugiere la relación con la zona argílica avanzada, que contiene minerales típicos como la alunita, no diagnosticado en este trabajo pero si reportado hacia la parte NE del sector por Lugo et al. 1989.

La mineralización del sector macroscópicamente se describe como un área de desarrollo de vetillas y diseminaciones, constituida fundamentalmente por pirita y en menor proporción por calcopirita. Estudios microscópicos determinaron variedades mineralógicas acompañantes como: enargita, calcosina, covelina, oro nativo, krennerita (teluro de oro), limonita (goethita, hematita).



Por las observaciones realizadas podemos dividir el proceso de mineralización en diferentes eventos. Un primer pulso hidrotermal relacionado con las alteraciones hidrotermales de la roca de caja, conjuntamente con diseminaciones de sulfuros principalmente pirita; un segundo pulso hidrotermal caracterizado por la asociación más importante pirita-calcopirita-enargita-covelina-calcosina-oro; y una fase hipergénica representada por, goethita y hematita. (Fig. 4).

Fig. 4 Diagrama ilustrativo de la abundancia de los minerales y su consecutividad de formación

La forma más abundante del **oro** es la nativa, se presenta en diseminaciones, con tendencias alargadas. Las dimensiones según observaciones microscópicas, son del orden de 0.0087 x 0.0029 mm y en vetillas entrecrecido con goethita. Sus espesores son del orden de 0.029 mm y el largo de los granitos alcanza 0.015 mm (foto 1).

**Krennerita** ( $\text{Au}_2\text{Te}$ ) tiene granos irregulares con bordes angulares. El tamaño es de 0.012 - 0.084 mm, generalmente entrecrecida con los minerales de ganga, sólo en un caso se incluye en calcopirita.

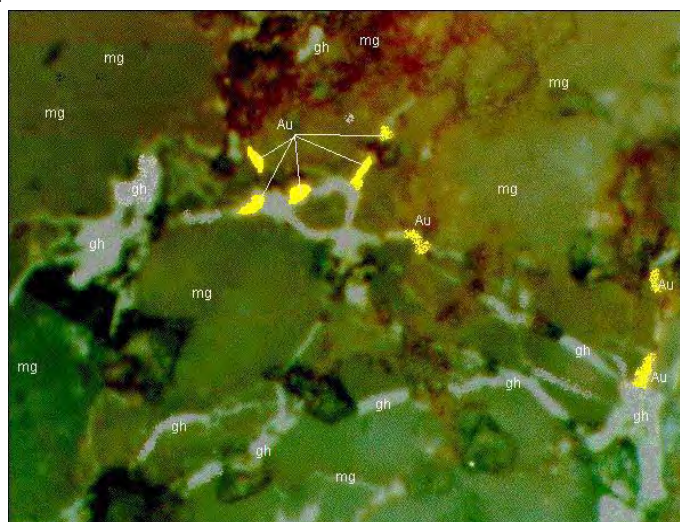


Foto. 1 Oro (amarillo) entrecrecido con goethita (gris claro) bordeado por los minerales de ganga (mg). Aumento 115 X.

**Enargita**, se desarrolla fundamentalmente en vetillas, aunque forma diseminaciones, en muchos casos aparece estrechamente entrecrecida con calcosina. Esta última forma una textura de reemplazamiento.

**Covelina**, es raramente difundida, se entrecrece y sustituye a la **calcosina**, en ocasiones bordea a la pirita .

**Aurocuprita**.- forma tres granitos incluidos en el no metálico, presentan formas alargadas con bordes angulosos, sus tamaños son de 0.044x0.0087 mm (para un grano) y 0.01x0.0029 mm (para dos granos).

**Pirita** generalmente forma granos euhedrales, raramente anhedrales en ocasiones presenta fracturas rellenas por goethita. Su tamaño oscila entre 0.02 –3.8 mm (foto2).

La **goethita**, forma vetillas diseminaciones y agregados en los minerales de ganga, en algunos casos forma textura de rebordes concéntricos típica de zonas de lixiviación, en este último caso alternando con **hematita** (foto 1).

La **calcopirita**, es el mineral de cobre de más desarrollo, forma granos irregulares generalmente con dimensiones menores del mm, aunque a veces se observan mayores. Aparece como mineral diseminado en los minerales de ganga, formando una textura alotriomorfogranular, otras veces rellena grietas y fracturas en granos de pirita formando textura de cemento ( foto 2) y a su vez es sustituida por la calcosina formando una textura de reemplazamiento . Para el caso de la mineralización de cobre se observa un cierto desarrollo en la zona sur y hacia la profundidad.

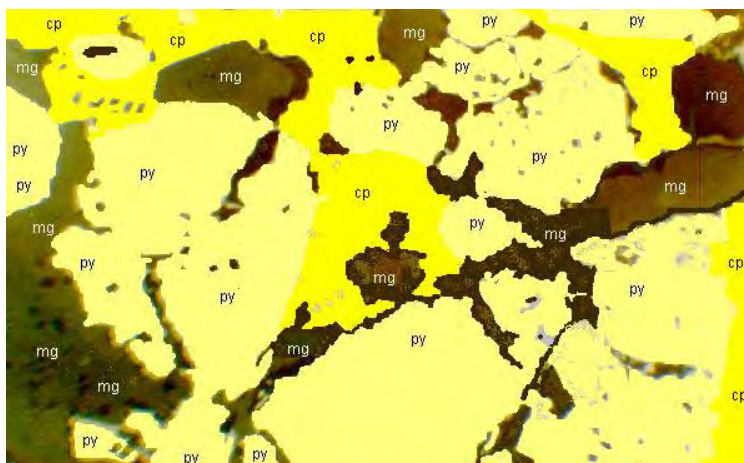


Foto 2. Pirita (py- amarillo claro) bordeada por calcopirita (cp- amarillo oscuro) y minerales de ganga (mg). Aumento 26 X.

Atendiendo a las características geológicas, alteraciones circunmeníferas y mineralización metálica presente, podemos inferir la existencia de sistemas epitermales del tipo sulfato ácido para el sector “El Pilar”, el cual ha sido sometido a la erosión. Esto se manifiesta por la presencia de la alteración argílica intermedia, argílica avanzada y por la ausencia de jasperoides o sílice opalina, propia de las zonas más superficiales para este tipo de depósito.

## CONCLUSIONES

1. Se le clasifica el sector El Pilar al tipo sulfato ácido, por la presencia de la asociación Pirita- calcopirita- enargita- covelina – calcosina oro, minerales de alteración cuarzo-caolinita –sericita-alunita y por las características geológicas.
2. La forma más abundante del oro es la nativa con tendencias a formas alargadas y dimensiones del orden desde 0.00n hasta 0.000n m.
3. Los minerales de alteración más desarrollados son: cuarzo- caolinita- sericita- minerales arcillosos- hidromicas- Goethita, atribuidos en parte a la zona argílica intermedia, pero la presencia de la asociación Pirita- calcopirita- enargita- covelina – calcosina- oro, sugiere la relación con la zona argílica avanzada que contiene minerales típicos como alunita.
4. La geoquímica de las de la formación Caobilla indica que son calcoalcalina con tendencia sódica y presentan cierto carácter toleítico.
5. La mineralización esta controlada por fallas sincrónicas con el arco, tanto circulares como rectilíneas estas últimas de dirección NE, W-NW y posiblemente N-S.

## BIBLIOGRAFÍA

- Hayba, O.D. et al. Geologic, mineralogic and geochemical characteristics of volcanic hosted epithermal precious metal deposits in Berguer, B.R. & Bethke, P. M. Editors. 1986. Geology and geochemistry of epithermal systems. Reviews in Economic Geology. pp 129 - 162
- Massive sulfide environment. Economic Geology vol. 91 pp 204-212.**
- Heal, P. ; Foley, N.K. and Hayba, D.O. 1987 Comparative Anatomy of volcanic- hosted epithermal deposits: Acid sulfate and adularia-sericite types. Economic Geology, v82. pp. 1-26.
- Lugo, R. et al. 1989. Informe de los trabajos de búsqueda en el sector de anomalías magnéticas Gaspar, Ciego de Avila. Inedito 230 pags..
- Panteleyef, A. 1998. Epithermal Au-Ag-Cu: High sulphidation (HOA). Mineral Deposit Profiles, B.C. Geological Survey. Sillitoe, R.H.; Hannington, H.D. and Thompson, J.F. 1996. High sulfidation deposits in the volcanic

## MAPA METALOGENICO DIGITAL DE LAS PROVINCIAS ORIENTALES A ESCALA 1: 500 000.

**Guillermo J. Pantaleón Vento<sup>(1)</sup>, Rafael M. Lavandero Illera<sup>(1)</sup>, Francisco Formell Cortina<sup>(2)</sup>, Xiomara Cazañas Díaz<sup>(1)</sup>, Rustin Cabrera Ortega<sup>(3)</sup>**

(1) *Instituto de Geología y Paleontología, Via Blanca # 1001 y prolongación de la Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana, Cuba, E-Mail: [gpantaleon@igp.minbas.cu](mailto:gpantaleon@igp.minbas.cu)*

(2) *Miembro Emerito de la Sociedad Cubana de Geología, Dr en Ciencias Geólogo – Mineralógicas, E-Mail: [fformell@cubarte.cult.cu](mailto:fformell@cubarte.cult.cu)*

(3) *Dr en Ciencias Geólogo - Mineralógicas*

### RESUMEN

En los últimos años la utilización de los métodos de cartografía geológica digital ha sido empleada con resultados satisfactorios en el Instituto de Geología y Paleontología. Mediante los mismos se han digitalizado, escaneado y confeccionado numerosos mapas a diferentes escalas para los Proyectos de Investigación y Desarrollo, Proyectos Ramales, Servicios Científico – Técnicos, etc. y en los últimos cinco años en la confección del Mapa Geológico de Cuba a escala 1: 100 000, dentro del programa del Sistema de Información Geológica (SIGEOL).

En las décadas de los años 80 y 90 se ejecutaron diferentes mapas temáticos por parte del Instituto de Geología y Paleontología, entre los cuales culminó en el año 1989 el Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1: 500 000 (inédito) ejecutado por un numeroso colectivo de investigadores cubanos y de las antiguas repúblicas soviéticas.

Se presenta, empleando la información recopilada y los datos actuales, el Mapa Metalogénico Digital de las antiguas provincias orientales en una base muda, para que pueda ser utilizada por los diferentes investigadores según sus necesidades. Para el desarrollo del trabajo se usó el software CARIS, georeferenciándose la imagen escaneada de la parte oriental del país.

En el mismo se describen: Zonas Metalogénicas, Sub Zonas Metalogénicas, Regiones Meníferas (Real, supuesta, Potencial), Campos Minerales y Nudos meníferos presentes en el área en una tabla a tales efectos. Se representan las principales concentraciones minerales (Yacimientos de diferentes categorías, manifestaciones, etc.) de las diferentes materias primas (Fe, Ni, Co, Cr, Au, Fe, Mn, Cu) tanto endógenas como exógenas. Se presentan los principales tipos genéticos de yacimientos con sus asociaciones minerales y rocas encajantes, así como el régimen tectónico (Riftogénico Continental, Riftogénico oceánico, Arco de islas Cretácico, Arcos de islas Paleógeno, Neoplatáformico y de Colisión) y la Epoca metalogénica (Jurásico-Cretácico, Cretácico, Paleógeno, Cuaternaria y No determinada) relacionada con la mineralización.

### ABSTRACT

The digital geologic cartography methods has been used in the last years with satisfactory results at the Institute of Geology and Paleontology. Many different scales maps of research and development, and other projects: Scientifics and technics services, etc has been digitized, scanned and made and in the last 5 years in the Geological Map of Cuba to scale 1: 100 000 preparation inside the System of Geological Information (SIGEOL)

In the year 80 and 90 decades different thematic maps were made by the Institute of Geology and Paleontology, among these the Metalogenic Map of the Republic of Cuba 1: 500 000 ends in the year 1989, did it by a large team of cuban and ancient soviet republics researchers.

Using the gathering information and the current data the Digital Metalogenic Map of the socalled eastern provinces is showeed in a silent base so it can be use by different investigators according to their necessities. Software CARIS was used. The eastern part of Cuba scanned image was georeferensed.

In the map metalogenic zones and subzones, mineral regions (Real, supposed and potencial) mineral fields and knots are described in a chart.

The main mineral concentrations (different categories location, manifestation, etc) of the different endogenous and exogenous primary products (Fe, Ni, Co, Cr, Au, Fe, Mn, Cu). The main genetic types of mineral fields with its mineral association and container rocks as well as the tectonic regime (Continental Rift, Oceanic Rift, Cretaceous island arcs, Paleogene island arcs, Neoplatamian and shock are also presented and the Metallogenic Epoch (Jurassic-Cretaceous, Cretaceous, Paleogene, Quaternary and Not known) related the mineralization.

## INTRODUCCION

El Instituto de Geología y Paleontología (IGP) del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) ejecuto en las décadas de los años 80 y 90 diferentes mapas temáticos de interés nacional entre los cuales culminó en el año 1989 el "Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1: 500 000" (MINBAS, 1989) inédito, el cual fue ejecutado por un numeroso colectivo de investigadores cubanos y de las antiguas repúblicas soviéticas.

Con la caída del campo socialista y el comienzo del Periodo Especial la edición e impresión de nuestros mapas que se realizaba mediante colaboración con estos países sufrió un duro golpe que interrumpió los convenios firmados, entre los cuales se encontraba el Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1: 500 000.

En la última década con los adelantos tecnológicos en el campo de la computación la cartografía tradicional de los mapas geológicos y temáticos a diferentes escalas ha sido sustituida por la cartografía digital que ha obtenido resultados satisfactorios.

La conjugación de las premisas mencionadas anteriormente motivo al colectivo de autores a acometer de inmediato la confección del Mapa Metalogénico Digital de las Provincias Orientales a escala 1: 500 000

## MATERIALES Y METODOS

El IGP cuenta con la infraestructura necesaria en medios de computo (hardware y software) así como especialistas de alto nivel para la aplicación de las tecnologías más avanzadas en la realización de mapas geológicos digitales.

En los últimos años el Instituto de Geología y Paleontología ha utilizado con resultados satisfactorios los métodos de la cartografía geológica digital en la creación de mapas geológicos a diferentes escalas y de forma obligada la utilización de los Sistemas de Información Geográfica, estas herramientas en las manos de nuestros especialistas han representado un salto cualitativo y cuantitativo en la confección de mapas y el desarrollo de Proyectos de Investigación en nuestro centro.

En el año 1989 concluyo la confección del Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1: 500 000, el cual se ejecuto durante varios años por un grupo de especialistas soviéticos y cubanos, que fueron agrupados en cuatro líneas de trabajo: Metalogenia, Base Estructuro Formacional, Geoquímica y Geofísica.

Fue objetivo del presente trabajo la confección en formato digital del Mapa Metalogénico de las provincias orientales sobre una base muda, para que pueda ser utilizada por los especialistas según sus necesidades, en el mismo se utilizo la información recopilada y los datos actualizados para esta región de nuestro país.



Se realizó el escaneo de las diferentes hojas constitutivas del mapa Metalogénico y sus Leyendas, obteniéndose una imagen de la parte oriental del país con 600 dpi en millones de colores y con extensión jpg, estas imágenes fueron georeferenciadas utilizando al menos 18 puntos de control en el sistema de información geográfica CARIS para el sistema Cuba Sur.

Al mismo tiempo se definieron: los colores que representan las Zonas y Sub Zonas Metalogénicas que cuentan además con un identificador numérico (VIa); los tipos de líneas que definen si una región menífera es Real, supuesta o potencial y los símbolos que identifican el tipo de materia prima mineral; se presenta la tabla de los principales tipos genéticos de los yacimientos minerales metálicos con sus asociaciones minerales y rocas encajantes, definiéndose un color para los metales tal como se hizo en el "Mapa de Yacimientos Minerales Metálicos y Aguas Minerales de la República de Cuba" (MINBAS, 1988), También se presenta el Régimen tectónico y la Epoca metalogénica para cada yacimiento presente en el mapa.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el mapa metalogénico digital de las provincias orientales se describen las siguientes unidades metalogénicas: Complejos Metalogénicos, Zonas Metalogénicas, Sub Zonas Metalogénicas, Regiones Meníferas (RM), Campos Minerales (CM) y Nudos Meníferos (Ver Tabla I)

Así mismo se definen los siguientes tipos genéticos de yacimientos:

1. MAGMATICOS OFIOLITICOS
2. CONTACTO METASOMATICOS
3. HIDROTHERMAL PLUTOGENO
4. HIDROTHERMAL VULCANOGENO
5. HIDROTHERMAL – SEDIMENTARIO
6. HIDROTHERMAL
7. VULCANOGENO – SEDIMENTARIO
8. SEDIMENTARIOS
9. RESIDUALES
10. REDEPOSITADOS

El régimen tectónico de formación de los yacimientos puede ser:

1. RIFTOGENETICO CONTINENTAL
2. RIFTOGENETICO OCEANICO
3. ARCO DE ISLAS CRETACICO
4. ARCO DE ISLAS PALEOGENO
5. NEOPLATAFORMICO
6. COLISION

Las Epocas metalogénicas definidas son:

1. Jurásico – Cretácico
2. Cretácico
3. Paleógeno
4. Cuaternario
5. No determinada

+ o más antiguo



- o más joven

Los yacimientos minerales que aparecen en el Mapa Metalogénico Digital de las Provincias Orientales presentan la información del tipo genético a que pertenecen, el régimen tectónico, la época metalogénica, la asociación mineral presente y las rocas encajantes de la mineralización.

En el mapa metalogénico se presentan las regiones meníferas presentes en cada zona y sub zona metalogénica, las cuales pueden ser: Real, Supuesta y Potencial; se puede dar el caso que una zona menífera sea real para Pb-Zn y potencial o supuesta para Au, al mismo tiempo se establece la especialización metalogénica de la regiones meníferas, dentro de la especialización metalogénica están presentes las siguientes materias primas:

**Endógenos:** Cr (refractaria), Cr (metalúrgica), Mn, Au, Fe, Cu, Pb-Zn, BaSO<sub>4</sub>, SCu(Co,Ge,Ga), W, Sb, Cu - Mo, Pirita, Ni - Cu

**Exógenos:** Au, Fe, Fe - Ni - Co, Al, Mn, Cr

La Especialización Metalogénica de las diferentes Regiones Meníferas para las Unidades metalogénicas, tanto endógenas como exógenas se da a continuación:

## **UNIDADES METALOGENICAS ENDOGENAS**

### **Complejo Metalogénico del Margen Continental.**

- II Zona Metalogénica Remedios- Gibara  
Región menífera 11 Gibara (Al)

### **Complejo Metalogénico Oceánico.**

- III Zona Metalogénica Bahía Honda – Baracoa
- III d Sub Zona Metalogénica Holguín  
Región menífera 23 Clemencia – Tojote (Au)
- III e Sub Zona Metalogénica Mayari - Baracoa  
Región menífera 24 Pinares de Mayari (Fe,Ni,Co, Cr)  
Región menífera 25 Sagua (Cr)  
Región menífera 26 Jaguani – Amores (Fe, Cr, Al)

### **Complejo Metalogénico de Arcos Volcánicos.**

- IV Zona Metalogénica Arco Insular Cretácico
- IV b Sub Zona Metalogénica Manicaragua - Purial  
Región menífera 36 Sibanicu (Cu)  
Región menífera 37 Elección – Olga (Cu)
- V Zona Metalogénica San José – Nuevo Potosí  
Región menífera 39 Agrupada – Reina Victoria (Au)  
Región menífera 40 Santa María – Mayabe (Cu)

Región menífera 41 Campo Verde – El Naranjo (Au)

VI Zona Metalogénica Arco Insular Paleogeno Sierra Maestra

VI a Sub Zona Metalogénica Bayamita – Gran Piedra

Región menífera 45 El Cedron (BaSO<sub>4</sub>)

Región menífera 46 La Cristina – La Mañana (Cu)

Región menífera 47 El Cobre – Gran Piedra (Cu,Au, Pb-Zn)

Región menífera 48 Mata (Mn,Cu,Pb-Zn)

Región menífera 49 Infierno (Pb-Zn,Cu)

VI b Sub Zona Metalogénica Bayamo - Guantánamo

Región menífera 50 Manacal (Mn, Cu)

Región menífera 51 Margarita de Cambute – Los Chivos (Mn)

Región menífera 52 Bueycito (Mn)

VI b Sub Zona Metalogénica Turquino - Santiago

Región menífera 53 Bayamita (Fe)

Región menífera 54 Turquino (Cu,Au)

Región menífera 55 Buey Cabon (Fe)

Región menífera 56 Sexta (Mn)

Región menífera 57 Daiquiri – Turquino (Fe)

VII Zona Metalogénica Cobertura Sedimentaria Cenozoica

Región menífera 62 Yaguajay (Al)

Región menífera 63 Auras (Au)

Región menífera 64 Guantánamo (Al, Fe,Ni,Co)

Región menífera 65 Maisí (Al)

Región menífera 66 Sola (Al)

**UNIDADES METALOGENICAS EXOGENAS**

I Sub Zona Nipe – Cristal – Baracoa

I a Región Menífera Nipe – Cristal

1 Campo Mineral Pinares de Mayari (Cr,Fe,Ni,Co)

2 Campo Mineral Nicaro (Fe,Ni,Co)

I b Región Menífera Moa - Baracoa

3 Sub Región Moa

4 Campo Mineral Moa (Fe,Ni,Co)

5 Campo Mineral Copeyal (Fe,Ni,Co,Cr)

6 Campo Mineral Camariocas – La Delta (Fe,Ni,Co)

7 Campo Mineral Piloto – Merceditas (Cr)

8 Campo Mineral Canta Rana (Fe,Ni,Co,Al)

9 Campo Mineral Santa Teresita (Fe,Ni,Co)

10 Campo Mineral Cayo Guam - Potosí (Cr)

11 Sub Región Baracoa

12 Campo Mineral Iberia – Buenavista (Fe,Ni,Co,Al)

13 Campo Mineral Amores (Cr)

## CONCLUSIONES

Se verifica una vez más la importancia de la utilización de la cartografía digital en la confección de mapas geológicos a diferentes escalas por las bondades que la misma ofrece en la interpretación y utilización de la información digital.

El mapa se da en una base muda para que pueda ser utilizado por diferentes investigadores según sus necesidades específicas.

Al estar el mapa en formato digital es posible su continua actualización e incorporación de nuevos datos según aumente el grado del conocimiento geológico del país, cuestión esta que se tendrá en cuenta al acometer el resto de nuestro territorio nacional.

## BIBLIOGRAFIA

- Ministerio de la Industria Básica. Instituto de Geología y Paleontología. 1989. Mapa Metalogénico de la República de Cuba. Escala 1: 500 000. Inédito. Cabrera, R., Tijomirov, I.N., Lavandero, R.M., Formell, F., Pantaleón, G., Montenegro, J., Lopez, J.M., García, D., Pardo, M., Correa, G., Stanek, K.P., Gil, S., Bravo, F., Cazañas, X., Barishev, A.N., Buguelskyi, Y.Y., Gue, G.G., Lozanov, I., Morales, A.M., Vazquez, O., Sosa, D., Gonzalez, D., Cuellar, N., Roque, U., Murguia, L., Diaz, J., Riftin, V.M., Toropchanina, S.L., Altarriba, I., Brito, G., Duany, E., Gutierrez, J.L., Bello, V., Amador, H., Taba, S., Sousin, O.A., Matamoros, I., Moya, I.
- Ministerio de la Industria Básica. Instituto de Geología y Paleontología. 1988. Mapa de Yacimientos Minerales Metálicos y Aguas minerales de la República de Cuba. escala 1: 500 000. URSS. De los Santos, E., Peñalver, L.L., Krivtsov, A.I., Tijomirov, I.N., Lavandero, R.M., Trofimov, V.A., Cabrera, R., Hernández, J., Estrugo, M., Santa Cruz-Pacheco, M., Bravo, F., Melnikova, A.A., Romero, J., Altarriba, I., Alvarez, P., Aniatov, I.I., Badamgavin, B., Barishev, A.N., Carrillo, D.J., Cazañas, X., Cuéllar, N., Dohnia, A.V., Formell, F., García, M., Gonzáles, D., Gue, G.G., Janchivin, A., Krapiva, L.J., López, J., Lozanov, I., Montenegro, J., Pantaleón, G., Stefanov, N., Vázquez, O., Zagoskin, A.M., Zhidkov, A.Ya.



Relación de Zonas Metalogénicas, Sub Zonas Metalogénicas y Regiones Meníferas

	Complejo Metalogénico	Zona Metalogénica	Sub Zona Metalogénica	Region Menífera	Campo Mineral
REGIONALIZACION METALOGENICA ENDOGENA	Margen Continental	II Remedios - Gibara		11 Gibara	
	Oceánico	III Bahía Honda - Baracoa	IIIId Holguín	23 Clemencia - Tojote	
			IIIe Mayari - Baracoa	24 Pinares de Mayari	
				25 Sagua	
				26 Jaguani - Amores	
	Arcos Volcánicos	IV Arco Insular Cretácico	IVb Manicaragua - Purial	36 Sibanicu	
				37 Elección - Olga	
		V San José - Nuevo Potosí		39 Agrupada - Nueva Victoria	
				40 Santa María - Mayabe	
				41 Campo Verde - El Naranjo	
		VI Arco Insular Paleogeno Sierra Maestra	VIa Bayamita - Gran Piedra	45 El Cedrón	
				46 La Cristina - La Mañana	
				47 El Cobre - Gran Piedra	
				48 Mata	
				49 Infierno	
			VIb Bayamo - Guantánamo	50 Manacal	
				51 Margarita de Cambute-Los Chivos	
				52 Bueycito	
			Vic Turquino - Santiago	53 Bayamita	
				54 Turquino	
				55 Buey Cabon	
				56 Sexta	
				57 Daiquiri - Turquino	
REG METALOGENICA EXOGENA			I Nipe - Cristal - Baracoa	Ia Nipe - Cristal	1 Pinares de Mayari
					2 Nicaro
			Ib Moa - Baracoa		3 Sub Región Moa
					4 Moa
					5 Copeyal
					6 Camariocas - La Delta
					7 Piloto - Merceditas
					8 Santa Rana
					9 Santa Teresita
					10 Cayo Guam - Potosí
					11 Sub Región Baracoa
					12 Iberia - Buenavista
	Cobertura Sedimentaria	VII Cobertura Sedimentaria Cenozoica		62 Yaguajay	7
				63 Auras	
				64 Guantánamo	
				65 Maisí	
				66 Sola	

## DISTRIBUCIÓN DE LOS PLATINOIDES Y EL ORO EN DIFERENTES OBJETOS GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE MOA.

**Antonio Rodríguez Vega**

*Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Las coloradas S/N, Moa .Holgún. Cuba.*

E. Mail: [arvega@ismm.edu.cu](mailto:arvega@ismm.edu.cu) ; [arvega48@yahoo.com](mailto:arvega48@yahoo.com) .

### RESUMEN

Este trabajo, relacionado con el En el presente trabajo se ofrecen los últimos resultados obtenidos en el estudio de la distribución de los elementos del grupo del platino (EGP) y el oro en algunos objetos geológicos en los que estos elementos, como resultado de determinado proceso geológico, pudieran concentrarse de forma significativa. Dentro de los objetos investigados se destacan los siguientes:

- Cuerpos de cromititas con diferentes características
- Cuerpos duniticos
- Manifestaciones de gabropegmatitas con cromita y sulfuros
- Rocas plagioclásicas con cromita y sulfuros
- Sedimentos aluviales y marinos costeros y sus diferentes fracciones
- Lateritas ferroniquelíferas

Los resultados obtenidos tienen su base en determinaciones analíticas precisas y confiables para Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Rh y Au, obtenidas dentro del marco de proyecto internacional de prospección de metales preciosos en ofiolitas y son considerados de mucha utilidad como índices de prospección y como fundamento para una acertada valoración de nuestros recursos de EGP y oro en la región de Moa. Ellos destacan la gran importancia que pudieran tener las lateritas ferroniquelíferas cubanas como fuente potencial de cantidades significativas de EGP y Au, confirman la existencia real de placeres marinos costeros de Au y EGP de cierto interés económico actual, revelan concentración anómalas de platinoideos en algunas manifestaciones de gabropegmatitas y rocas plagioclásicas (anortositicas) con sulfuros y cromititas presentes en la región y en la fracción magnética de los sedimentos fluviales y confirman el carácter pobre en EGP de nuestras cromititas y el elevado fondo del oro en las diferentes rocas presentes en la región.

### ABSTRACT

Presently work offers the last results obtained in the study of the distribution of platinum group elements (PGE) and the gold in some geologic objects in those that these elements, as a result of certain geologic process, they could concentrate in a significant way. Inside the investigated objects they stand out the following ones:

- Cromitites bodies with different characteristic
- Dunitic bodies
- Manifestations of gabropegmatites with cromite and sulfides
- Plagioclastic rocks with cromite and sulfides
- Alluvial and coastal marines sediments and their different fractions
- Fe-Ni laterites

The obtained results have their base in analytic determinations of high quality for Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Rh and Au, inside the mark of the international project of prospection gide for precious metals in ofiolite.

The obtained results are considered of a lot of utility like prospecting indexes and like foundation for a guessed right valuation of our resources of EGP and gold in the region of Moa. The obtained results highlight the great importance that they could have the Cuban Fe-Ni laterites as potential source of significant quantities of PGE and Au, the real existence of coastal marine placers of Au and EGP of certain economic interest and the revelation of significant concentration of platinoides in some gabropegmatites manifestations and plagioclastic rocks (anortositics) with sulfides and cromite in the region, they confirm the poor character in EGP of our cromititas and the high bottom of the gold in the different present rocks in the region.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo, relacionado con el estudio de la distribución de los platinoides y el oro en diferentes objetos geológicos de la región de Moa, se ofrecen los últimos resultados obtenidos en el estudio de la distribución de los elementos del grupo del platino (EGP) y el oro en algunos objetos geológicos en los que estos elementos, como resultado de determinado proceso geológico, pudieran concentrarse de forma significativa. Dentro de los objetos investigados se destacan los siguientes:

- Cuerpos de cromititas con diferentes características
- Cuerpos duníticos
- Manifestaciones de gabropegmatitas con cromita y sulfuros
- Rocas plagioclásicas con cromita y sulfuros
- Sedimentos aluviales y marinos costeros y sus diferentes fracciones
- Lateritas ferroniquelíferas

Los resultados obtenidos tienen su base en determinaciones analíticas de elevada calidad para Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Rh y Au realizadas en un especializado y prestigioso laboratorio australiano, dentro del marco del proyecto internacional de metales preciosos en ofiolitas patrocinados por la red temática CYTED-XIII-B de metales preciosos.

Los resultados obtenidos son considerados de mucha utilidad como índices de prospección y como fundamento para una acertada valoración de nuestros recursos de EGP y oro en la región de Moa. Los resultados obtenidos destacan la gran importancia que pudieran tener las lateritas ferroniquelíferas cubanas como fuente potencial de cantidades significativas de EGP y Au, la existencia real de placeres marinos costeros de Au y EGP de cierto interés económico actual y la revelación de concentración significativa de platinoides en algunas manifestaciones de gabropegmatitas y rocas plagioclásicas (anortositicas) con sulfuros y cromititas presentes en la región, confirman el carácter pobre en EGP de nuestras cromititas y el elevado fondo del oro en las diferentes rocas presentes en la región.

Durante la realización de este trabajo también se tuvieron en cuenta algunos resultados obtenidos con mucha anterioridad por el autor y otros investigadores, los que desempeñaron un papel muy importante en el conocimiento de la distribución de los EGP fundamentalmente en las cromititas y establecieron las bases para evaluar la potencialidad de la región en recursos de estos elementos, teniendo en cuenta a las cromititas podiformes como fuentes primarias y los placeres derivados de su destrucción como fuentes secundarias. Dentro de las investigaciones que sentaron pautas en la investigación de los platinoides en la región destacamos la realizada por Proenza en la pasada década durante el desarrollo de su tesis doctoral, la llevada a cabo por Kenarev hace cerca de 30 años y la realizada por el autor conjuntamente con Distler y otros colegas del ISMM en la década de los 80 y las realizadas por Díaz Martínez y el autor en la pasada década.

Los resultados recientemente obtenidos resultan novedosos al derivarse del estudio de la distribución en objetos hasta el momento ignorados como posibles fuentes de EGP y en materiales en los que estos elementos habían sido poco o nada estudiados, como es el caso de los sedimentos fluviales y de playas y las lateritas ferroniquelíferas.



## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos por Proenza, expuestos en la tabla I, las cromititas de la región Mayarí-Sagua –Moa-Baracoa pueden ser consideradas como pobres en EGP y muestran la típica paragénesis de estos elementos para las cromititas podiformes propias de los ofiolitas, con la excepción del depósito de Potosí (tabla I, muestra PO-1) en el que se observa un significativo incremento del Pt y Pd, fenómeno reportado por Kenarev.

Tabla I: Distribución de los Elementos del Grupo del Platino (EGP) en las cromititas de la región Mayarí-Sagua-Moa-Baracoa. Según Proenza, 1997.

Muestra	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	ΣEGP	Au
Am-7	3	2.2	7	1.1	5	2	23.5	0.5
Am-9	11	4.8	20	1.6	5	2	44.4	3.5
CG-8	13	9.9	40	5.1	22	10	100.0	2.3
PO-1*	99	57	79	22.5	172	69	498.5	2.1
PO-2*	18	15	45	3.3	5	2	88.3	1.2
NV-1	17	19	55	4.5	5	5	105.5	1.3
RU-1	3	2.8	5	0.5	5	2	18.3	0.5
SI-2**	110	210	120	42.5	43	12	537.5	1
CS-4	8	8.7	6	4.4	7	2	36.1	0.5
CS-6**	99	55	61	2.2	8	2	227.2	0.6
CB-B	8	9.5	20	4	5	2	48.5	0.9
CL-3	19	24	25	6.8	10	11	95.8	8.7
CL-5	11	18	48	5.3	5	2	89.3	2.5
Muestras del yacimiento Merceditas								
MD-1	15	6.6	25	2.2	5	2	58.8	3.2
MD-2	13	5.6	35	4.5	30	5	93.1	16
MD-3	21	10	62	7.5	5	10	115.5	5.6
MD-4	19	6.9	39	1.8	12	5	83.7	3,7
MD-5	18	7.2	43	2.6	5	2	77.8	2.5
MD-6	10	5.7	41	3.4	5	2	67.3	30
MD-7	20	8.7	30	1	5	2	66.7	2.1
MD-8	22	7.3	35	5.6	17	3	89.9	5.6
MD-9	17	5.6	26	1.5	5	3	58.1	2.3
MD-10	15	6.6	58	2.3	13	6	100.9	3.1
MD-11	17	7.9	49	3.3	20	7	104.2	2.9
MD-12	15	5.9	56	3.4	5	2	87.3	1.7
MD-13	13	6.2	53	0.8	5	2	80	4.7
MD-14	17	7.3	33	3.5	23	5	88.8	14.4
MD-15	48	15	93	2.9	5	2	165.9	2.5
MD-16	35	15	51	3.1	5	2	111.1	1.3
MD-17	25	14	46	7.3	5	17	114.3	5.1
MD-18	7	6.4	10	2	5	2	32.4	1.7
MD-17	13	12	48	2.4	5	16	96.4	5.4
MD-20	6	3.5	15	0.4	24	9	57.9	0.7

Precisamente este autor consideró el depósito Potosí como cromititas ricas en estos elementos. En cierta medida, el carácter pobre en EGP de las cromititas de la región no esta a favor de que la misma sea perspectiva para la localización de depósitos de placeres alguna importancia económica, considerando estas cromititas como posible fuente primaria de estos metales; sin embargo, el estudio de la potencialidad de las cromititas, tanto podiformes como estratiformes, como fuentes de EGP es absolutamente correcto, teniendo en las regularidades conocidas acerca de la distribución de estos elementos en depósitos semejantes en el mundo. Por otro lado, la presencia de contenidos marcadamente anómalos de Pt y Pd en las lateritas ferroniquelíferas (tabla II) es un hecho a tomar muy en consideración al evaluar las potencialidad de los recursos de estos elementos en la región, dado el gran desarrollo de los recursos lateríticos de este tipo en la misma. Estas lateritas en si misma pudieran constituir una fuente secundaria de Pt y Pd, al tiempo que pudieran contribuir al aporte de los mismos a los depósitos de placeres aluviales y de playas.

Tabla II: Contenidos de platino y paladio en las lateritas de Moa

Muestra	Contenido en ppb	
	Pt	Pd
1	70	230
2	40	60
3	90	220
Promedio	66	170

Desde nuestro punto de vista, la presencia de contenidos anómalos de EGP en las cromititas de la región (aunque pobres con relación a sus semejantes de otras regiones) y los contenidos anómalos de Pd y Pt propios de los grandes depósitos de lateritas ferroniquelíferas hacen muy perspectiva la región para la prospección y revelación de placeres en la región Mayarí-Sagua-Moa-Baracoa, conjuntamente con Au, tal y como se ha comprobado en otras regiones del planeta.

Los resultados recientemente obtenidos, reflejados en las tablas III y IV, que a continuación se analizarán abogan a favor de esta idea y acerca de la existencia de nuevas fuentes de EGP aun poco conocidas en algunas áreas de la región objeto de estudio. Los datos de la tabla III pertenecen a diferentes rocas y menas cromíticas de las cuencas de los ríos Cayo Guan y Potosí; dentro de ellas se destacan las muestras CG-O6, CG-08 y CG-11, las dos primeras por los contenidos de Pd Y Pt contrastantemente anómalos y con una paragénesis de EGP no típica de las cromititas podiformes, caracterizadas por el fuerte predominio de Os, Ir y Ru, mientras que la tercera está notablemente enriquecida en Au, que tampoco es común en cromititas podiformes. Las restantes muestras son cromititas que manifiestan la paragénesis de platinoides típica de las cromititas podiformes y pobres en EGP, recalcando además que en todas ellas el contenido de sulfuro es significativo, llegando a considerarse en algunos casos como cromititas impregnadas en estos minerales. Por su parte, las muestras CG-O6 y CG-08 se corresponden con cuerpos de gabropegmatitas con sulgueros diseminados y de una roca plagioclásica con cromita diseminada, mientras que la CG-11 pertenese a una dunita con numerosas finas bandas de finas de cromita. Desde nuestro punto de vista, estos cuerpos de pegmatitas y plagioclasitas con cromita requieren de un estudio particular de la distribución de Pt y Pd en ellas, asi com de su génesis y propagación en la región.

En la tabla IV se muestran los resultados de los análisis de EGP y Au en diferentes fracciones de los sedimentos aluviales y de playa recolectados en la región y se les añade, a modo de comparación, los de las muestras CG-O6 y CG-08.

Tabla III: Contenidos de EGP y Au en muestras de diferentes rocas de las áreas de Potosí y Cayo Guan

Muestra	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	ΣEGP	Au
CG-05	12	8	19	2	13	--	54	5
CG-06*	9	12	22	5	46	61	155	38
CG-08*	13	10	23	6	36	83	171	14
CG-09	--	--	2	1	8	3	14	--
CG-11	6	8	10	2	6	3	35	243
PT-06	16	10	24	2	14	12	78	--
PT-07	21	12	29	2	12	12	88	--
PT-08	7	5	18	1	12	14	54	--

Las muestras Cu-106, Cu-107, Cu-108 y Cu-109 se corresponde con las arenas de diferentes horizontes de un placer marino costero sin beneficio alguno; los resultados muestran un enriquecimiento significativo del oro en algunos horizontes, sobre todo en el superior (93 ppb). Con las excepciones del Ir y Ru, no se puede hablar de enriquecimiento en EGP. La muestra Cu-100 se corresponde con la fracción no magnética obtenida de las arenas del placer marino costero, luego de extraérsele las fracciones magnética y electromagnética, que constituyen más del 80 % de la masa de arenosa. Se destaca el notable enriquecimiento del oro en la fracción no magnética y la ausencia casi total de los EGP. Las muestras Cu-102, Cu-103 y Cu-104 son muestras compuestas de la fracción magnética (casi 100 % magnetita) obtenidas de los conjuntos de muestras individuales de concentrados pesados recolectados en tres cuencas fluviales: Río Quesigua (Cu-102), Río Cayo Guan (Cu-103) y Río Potosí (Cu-104). En estas tres muestras se destaca el notable enriquecimiento en EGP, particularmente de Pd y Pt, lo que confirma que las principales fases portadoras de estos elementos son aleaciones metálicas y magnéticas. La muestra Cu-101 es la equivalente no magnética de la Cu-103 (Río Cayo Guan); la no presencia de EGP en ella corrobora lo anteriormente dicho. Dentro las tres muestras de la fracción magnética vale la pena destacar la importancia de la Cu-102 por la siguiente razón: a diferencia de las otras dos, esta muestra proviene de una cuenca fluvial donde no hay la más mínima manifestación de cromititas, al tiempo que en dicha cuenca (Río Quesigua) se desarrolla casi exclusivamente en gabros, lo que obliga a pensar en un tipo de mineralización de EGP vinculada a los gabros, en lugar de cromititas. El marcado predominio de Pd y Pt, con relación a los restantes platinoides (Ru, Ir y Os) también constituyen un sólido argumento a favor de una paragénesis de EGP no cromítica. La presencia de Pd en la fracción magnética en concentraciones marcadamente anómalas ya había sido revelada con anterioridad en el 20 % de las muestras de concentrados pesados recolectadas en una cuenca fluvial con características muy particulares, por lo que estos nuevos datos constituyen una confirmación fehaciente de tal acontecimiento.

Los resultados obtenidos acerca de la distribución de Pd, Pt y Au esta en correspondencia con las características de los placeres asociados a ofiolitas, revelados y explotados en diferentes regiones del mundo. Como regla general, a pesar de que las cromititas podiformes ofiolíticas, como fuente más conocida y probable de minerales de los EGP presentes en los depósitos de placeres, presentan una paragénesis de estos elementos caracterizada por el marcado predominio de Os, Ir y Ru, en dichos placeres predomina la asociación Pt-Pd-Au, lo que obliga a pensar en fuentes aun insuficientemente estudiadas de estos elementos en las ofiolitas, muy difundidas, pero con una mineralización predominantemente dispersa.

Tabla IV: Contenidos de EGP y Au en diferentes fracciones de los sedimentos fluviales y de playas.

Muestra	Contenidos (ppb)						
	Au	Ir	Os	Pd	Pt	Rh	Ru
Cu-100	867	X	X	X	3	X	X
Cu-101	X	X	X	3	X	X	X
Cu-102	13	10	6	217	127	7	18
Cu-103	12	16	11	70	71	8	31
Cu-104	X	20	12	61	47	7	32
Cu-105	X	4	3	2	4	2	6
Cu-106	93	4	X	6	5	3	13
Cu-107	38	3	X	3	2	X	5
Cu-108	32	2	2	3	X	1	5
Cu-109	X	3	X	X	3	1	6

## CONCLUSIONES.

La región de Mayarí-Sagua-Moa-Baracoa es perspectiva para prospección de depósitos de placeres aluviales y marinos costeros de Au y EGP.

Los depósitos de cromititas, las lateritas ferroniquelíferas y otros objetos geológicos aun insuficientemente investigados pudieran constituir la fuente del Au y los EGP de los depósitos de placeres.

El método de los concentrados pesados pudiera ser muy apropiado para la prospección y evaluación de los depósitos de placeres, con especial atención en el análisis de la fracción magnética.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda un estudio más profundo de aquellos objetos en los que se ha revelado la presencia de contenidos anómalos de Pd y Pt, particularmente en áreas donde se ha comprobado la presencia de valores anómalos de estos elementos en la fracción magnética de los sedimentos fluviales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Proenza Fernández, J.A, 1978 Mineralización Cromítica en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Mercedita (tesis Doctoral),
- Rodríguez Vega, A, 1994: Aplicación del método geoquímico de los concentrados pesados en la prospección geoquímica y el análisis metalogénico en la región nororiental de la provincia de Holguín (tesis doctoral)
- Distler, V.V et al, 1988: Estudio de la distribución de los platinoídes en las lateritas ferroniquelíferas, los productos metalúrgicos y las cromititas dela región de Moa. Reporte de investigación. Instituto de geoquímica y mineralogía de los elementos raros y dispersos. Academia de Ciencias de la URSS. Moscu.
- Pereira, E. et al, 2004: Guías de prospección de metales preciosos en complejos ofiolíticos. CYTED de Metales preciosos, España. Capítulo El Caribe.

## CARACTERIZACIÓN Y POTENCIALIDAD DE LA MINERALIZACIÓN ILMENÍTICA EN LA CORTEZA DE METEORIZACIÓN DESARROLLADA EN LOS GABROS BANDEADOS DE CAYO GRANDE, MOA.

**Jorge L. Delgado Feuts<sup>(1)</sup>, Jesús A. Blanco Moreno<sup>(2)</sup>, Silva Pereira Ginga<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup>. Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este Km 51/2, Camagüey, Cuba. Telf: 271328, 271202. E-mail: [jorgedf@geomineracmg.co.cu](mailto:jorgedf@geomineracmg.co.cu)

<sup>(2)</sup>. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Las Coloradas, Moa, Holguín.

### RESUMEN

En trabajos anteriores (Díaz (1996); Rodríguez, 2000) se detectaron concentraciones de ilmenita en los concentrados pesados del Río Cañete, por lo que en este trabajo realizamos una caracterización y distribución de la ilmenita por clase granulométrica en la corteza de meteorización que se desarrolla sobre los cumulos máficos en el área de Cayo Grande, la cual abarca toda la cuenca hidrográfica de los ríos Yamanigüey, Cañete y Cupey.

Para esto se tomaron muestras en el área de estudio, así como en el Quemado del Negro zona la cual esta fuera de los límites de la zona de estudio, para poder realizar comparaciones del comportamiento de la ilmenita en un área más extensa. Las muestras fueron sometidas a procesos de lavado, separación granulométrica, magnética y electromagnética, y conteo mineralógico. Además se hicieron análisis de Rayos X y de Microsonda Electrónica los cuales fueron realizados, en el ISMM de Moa y la Universidad de Barcelona.

Donde se obtuvo que la ilmenita aparece en forma de microcristales alotrópicos siguiendo los planos de exfoliación de los clinopiroxenos y alterada a leucoxeno, con contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  relativamente bajos.

En la corteza sobre gabros la ilmenita se concentra en las Fracciones Fuertemente Electromagnética, siendo predominante en las clases granulométricas comprendidas entre - 0.8 mm y + 0.08 mm. La zona de Cupey (6.32 %, 0.89g/m<sup>3</sup>) y el Cañete (1.76 %, 0.08 g/m<sup>3</sup>) son la de mayores concentraciones de ilmenita y la del Quemado del Negro la de los menores valores de concentración (0.09 %, 0.004 g/m<sup>3</sup>).

### ABSTRACT

In previous works (Díaz (1996); Rodríguez, 2000) were detected the ilmenite concentrations in the heavy concentrate of the River Cañete, for what we carry out a characterization and distribution of the ilmenite for granulometric class in the watering crust that is developed on the mafic cumulus the area of Cayo Grande, which embraces all hidrografic basin of the rivers Yamanigüey, Cañete and Cupey.

For this they took samples in the study area, and Quemado del Negro the one which this outside of the limits of the study area, to be able to carry out comparisons of the behavior of the ilmenite in a more extensive area. The samples were subjected to laundry processes, granulometric, magnetic and electromagnetic separation, and mineralogical count. Also analysis of Rays X was made on the ISMM of Moa and Microsonda Electronic was made in the University of Barcelona.

Where it was obtained that the ilmenite appears in form of alotriomorphic microcrystals following the planes of exfoliation of the clinopyroxene and altered to leucosene, with contents of relatively low  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

In the crust upon gabbros the ilmenite he concentrates on the Strongly Electromagnetic Fractions, being predominant in the granulometrics classes between - 0.8 mm and + 0.08 mm. The area of Cupey (6.32%, 0.89g/m<sup>3</sup>) and the Cañete (1.76%, 0.08 g/m<sup>3</sup>) they are that of more ilmenite concentrations and that of the Quemado del Negro that of the smallest concentration values (0.09%, 0.004 g/m<sup>3</sup>).

## INTRODUCCION

Este trabajo tiene como antecedente inmediato la investigación desarrollada en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañete por Díaz (1996), donde se reveló por primera vez el elevado contenido de ilmenita presente en los concentrados pesados de este río y posteriormente Rodríguez, (2000) realizó un estudio profundo de la características petrológicas de las rocas fuente de suministro de la mineralización ilmenítica. Teniendo en consideración estas premisas, trazamos como objetivo de este trabajo profundizar en el conocimiento mineralógico de la ilmenita y su potencialidad en la zona de Cayo Grande en la Cuenca Hidrográfica de los Ríos Cupey, Yamanigüey y Cañete, la cual abarca un área de 16 Km<sup>2</sup> aproximadamente ubicada al noreste de la provincia de Holguín.

La selección del área de trabajo se realizó teniendo en cuenta como premisas principales la existencia de cuerpos de rocas de afinidad ofiolítica en el área de estudio, la existencia de corteza de intemperismo sobre los gabros, la presencia y desarrollo de una red hidrográfica que corta los cuerpos y cortezas sobre gabros, transportando y acumulando el material detrítico y la presencia de arenas negras en los depósitos aluviales del Río Cañete, con elevados contenidos de ilmenita.

La ilmenita es la principal fuente de obtención de titanio en la industria metalúrgica, se emplea como abrasivos, esmalte, revestimiento de electrodos y como refractario. Cuando el contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$  es inferior a 0.15 % se emplea en la producción de pigmentos. Debido a su resistencia y su peso ligero el titanio se usa en aleaciones metálicas y como sustituto del aluminio. Se usa ampliamente en misiles y cápsulas espaciales; las cápsulas *Mercurio*, *Gemini* y *Apolo* fueron construidas casi totalmente de titanio.

La relativa inercia del titanio lo hace eficaz como sustituto de los huesos y cartílagos en cirugía, así como para las tuberías y tanques que se utilizan en la elaboración de alimentos. Se usa en los intercambiadores de calor de las plantas de desalinización debido a su capacidad para soportar la corrosión del agua salada. En metalurgia, las aleaciones de titanio se usan como desoxidante y desnitrogenantes para eliminar el oxígeno y el nitrógeno de los metales fundidos.

## MATERIALES Y METODOS

### Trabajos de campo.



Durante el trabajo de campo se realizó el muestreo litológico de los diferentes tipos de rocas presentes, sin embargo, se hizo muy difícil encontrar un área representativa del corte de los gabros bandeados, al encontrarse estos totalmente alterados y afectados por procesos tectónicos. Por lo que nos dedicamos a tomar muestras de la corteza de meteorización formada encima de los gabros bandeados y en gabros bandeados alterados.

Se tomaron dos grupos de muestras, las primeras fueron tomadas en Cañete (C1, C2, C3) y en Cupey (GCU4, M1, M2, M3) en cortezas formadas sobre gabros bandeados (Anexo, Figura. 1). El segundo grupo de muestras fueron tomadas en un afloramiento de gabros bandeados muy alterados en el Quemado del Negro (Qn1, Qn2, Qn4 y Qn5) con el objetivo de hacer una comparación de estos gabros con los de la zona de Cayo Grande.

Se empleó el muestreo de surco y el peso inicial de las muestras fue de 2 Kg. Esta tarea fue realizada con el objetivo de caracterizar de forma preliminar el contenido de ilmenita en la corteza desarrollada sobre los diferentes tipos de gabros bandeados que aparecen en el área estudiada y sus alrededores.

### **Trabajos de laboratorio.**

Los análisis químicos de los minerales presentes en las muestras se efectuaron mediante la microsonda electrónica CAMECA SX50, en los Serveis Científico-Tècnics de la Universitat de Barcelona. Se utilizó una tensión de aceleración de 20 Kv y una corriente sobre la muestra de 20 nA. Se midió sobre las líneas espectrales Kalfa del Fe, Mn y Ni con un cristal LiF, las Kalfa Mg, Si, Al, Na con un TAP, y las Kalfa del Ca, Cr, Ti y K con un PET. Los patrones utilizados fueron ortoclasa (Si, Al, K),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Fe), periclase (Mg), wollastonita (Ca), rodonita (Mn), NiO (Ni), rutilo (Ti), albita (Na),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (Cr).

### **Análisis de Rayos-X.**

Los análisis de Rayos-X fueron utilizados en esta investigación para corroborar y determinar la presencia de diferentes fases minerales, los que se aplicaron sobre un compuesto de la Fracción Fuertemente Electromagnética de las muestras de corteza.

El equipo empleado fue el difractómetro de Rayos-X, HZG-4 del laboratorio de Rayos-X del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, con las condiciones de trabajo siguientes:

- ✓ Intensidad de corriente 30 miliamperios
- ✓ Potencia 40 Kv.
- ✓ Nivel de fondo 00-3/50
- ✓ Radiación Co K alfa
- ✓ Velocidad del goniómetro  $2^\circ/\text{min}$
- ✓ Ángulo de corrida de  $10-80^\circ$

### **Análisis mineralógico cuantitativo**

La abundancia de la ilmenita fue determinada a través del conteo de 200 granos totales y la determinación de su frecuencia de aparición en este rango, en cada clase granulométrica de la Fracción Fuertemente Electromagnética (FFEM) y al multiplicarse el por ciento de aparición de la ilmenita por el valor de densidad volumétrica de la ilmenita que es  $4.7 \text{ g/cm}^3$  obtenemos el peso volumétrico de la ilmenita en la muestra. Según Nechaev e Isphording (1993), metodologías similares son normalmente utilizadas para el estudio cuantitativo de los minerales.

El objetivo fundamental de esta fase del trabajo fue determinar la frecuencia de aparición de la ilmenita para calcular el contenido del mineral en la muestra y poder hacer la valoración preliminar del contenido de ilmenita en la corteza de meteorización sobre gabros bandeados.

Para desarrollar el análisis mineralógico de las muestras de corteza sobre gabros fue necesario realizar la preparación previa de las mismas, según el esquema de la Figura. 2.

Para el pesado de las muestras de mayor de 1 Kg se utilizó la balanza Metripod de fabricación Húngara y para el pesado de las muestras menores de 1 Kg se recurrió a la balanza Owlabor de fabricación Alemana.

Para la separación granulométrica se utilizó el siguiente juego de tamizes, (en algunos casos se utilizó un número mayor de tamices para una información de más detalle), se recurrió a la vía húmeda.

Tamices utilizados para la separación granulométrica.

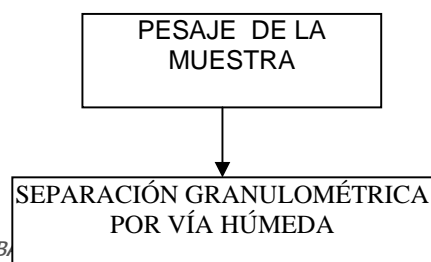
1. Tamiz de 2.5 mm.
2. Tamiz de 0.8 mm.
3. Tamiz de 0.4 mm.
4. Tamiz de 0.25 mm.
5. Tamiz de 0.08 mm.

Posteriormente las muestras se secaron de forma natural, colocando el material de las diferentes fracciones granulométricas en recipientes amplios, de forma dispersa.

La separación magnética de las muestras se logró sometiendo a los efectos de un campo magnético, teniendo como premisa la diferencia de susceptibilidad magnética de las especies minerales. Este proceso se desarrolló con la ayuda de un imán de mano, marca SOCHNEV-5 que se hizo pasar sobre una superficie monogranular creada al efecto sobre una hoja de papel de superficie plana. Los minerales atraídos por el campo magnético pasaron a formar la Fracción Magnética (FM).

Se sometió a la separación electromagnética. Para desarrollar este procedimiento se empleó un separador de inducción tipo "rodillo" de fabricación rusa. En este proceso se tomaron en consideración varias variables independientes: intensidad de campo, alimentación y ángulo de inclinación del canal vibrante.

La primera separación fue efectuada utilizando valores de intensidad de corriente de 1 Ampere y una potencia de 7 Voltios, y se obtuvo una Fracción Fuertemente Electromagnética (FFEM), (Parfenoff, et al. 1970) y una Fracción no Electromagnética (FNEM), obteniéndose finalmente tres fracciones: Fracción Magnética (FM), Fracción Fuertemente Electromagnética (FFEM), Fracción no Electromagnética (FNEM).



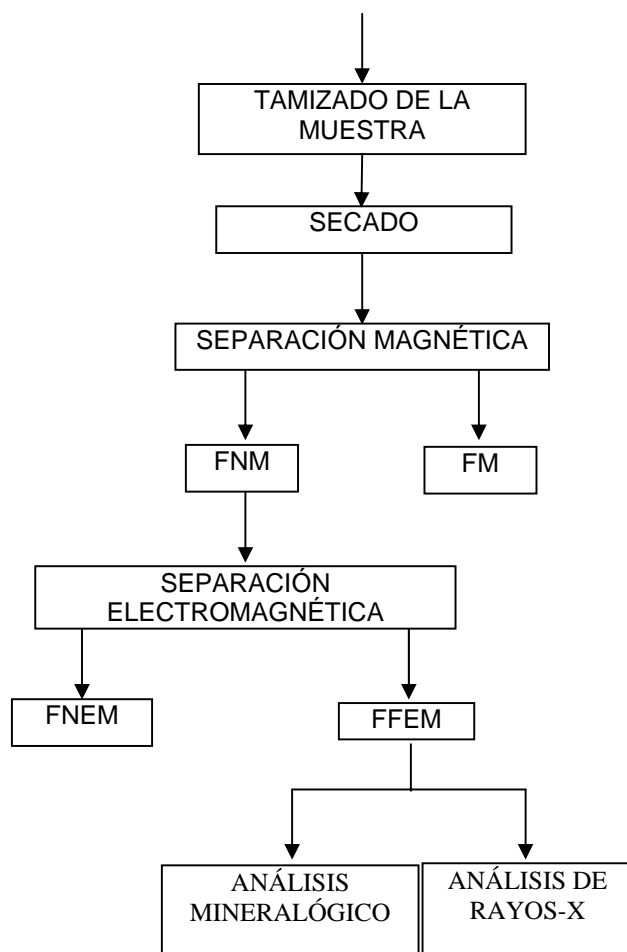


Figura 2. Esquema de preparación de muestras de la corteza sobre gabros.

## RESULTADOS E INTERPRETACIÓN.

### Mineralización ilmenítica en los cumulos de gabros.

En estas rocas ilmeníticas se presenta en microcristales alotriomórficos, siguiendo los planos de exfoliación de los clinopiroxenos o como inclusiones dentro de ellos, a veces en forma dispersa. El tamaño de los cristales va desde 0.01 – 0.8 mm.

La ilmenita se encuentra alterada a leucoxeno, esta alteración se desarrolla de forma irregular, sin planos definidos dentro de los cristales de ilmenita, también se desarrolla en los bordes de los granos, con nicoles cruzados muestra diferentes colores, propios de los reflejos internos del leucoxeno.

En algunos casos la ilmenita se presenta maclada, este fenómeno se observa mejor en los cristales de mayor tamaño. En los gabros bandeados además de ilmenita hay magnetita, en menor proporción, este mineral metálico se desarrolla en las afueras del olivino, como resultado del proceso de serpentinización del mismo.

Los sulfuros se encuentran dentro de los piroxenos y las plagioclasas o de formas intersticial vinculados a las zonas de grietas.

### Química mineral de la Ilmenita.

Las ilmenitas de la zona de Cayo Grande tienen una composición de, hasta un 50.44 % en peso de  $\text{TiO}_2$ , 41.61 % en peso de  $\text{FeO}$ , 4.74 % en peso de  $\text{MnO}$ ; en cambio los contenidos de  $\text{MgO}$  son extremadamente bajos, menores de 0.22 % en peso. Los valores de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  oscilan entre 0.22-0.46 % en peso (Tabla I). Estas ilmenitas presentan composiciones muy diferentes a las descritas en otras áreas del Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa, (Proenza, et al; 1999b) describen inclusiones de ilmenitas en menas de cromitas (ricas en sulfuros) en la mina Potosí, donde estas ilmenitas presentan valores de  $\text{MgO}$  de hasta un 13 % en peso.

### Resultados obtenidos del análisis mineralógico cuantitativo.

Según los datos obtenidos de los contenidos de ilmenita en los gabros de Cayo Grande y Quemado del Negro después de haber realizado las separaciones granulométricas, magnéticas y electromagnéticas y el conteo mineralógico. Vemos que existen gabros de Cayo Grande con exuberantes contenidos de ilmenita de hasta 10,58 % con un promedio de 6.32 % y un peso volumétrico de  $0.89\text{g/m}^3$ , muestra M-1, M-2 y GCU-4 perteneciente a la cuenca hidrográfica del Río Cupey (Figura 3) y otros con concentraciones no tan elevadas pero aún anormal de 1,76 % y  $0.08\text{g/m}^3$ , muestra C-2 perteneciente a la cuenca hidrográfica del Río Cañete. Mientras que las concentraciones de ilmenita en los gabros bandeados de la zona del Quemado del Negro tiene valores casi nulos con valores de 0,09 % en peso y  $0.004\text{g/m}^3$  de la muestra total (Qn-4). Según los resultados obtenidos por el método de difracción de Rayos X, se sabe que los principales piroxenos formadores de estas rocas son los piroxenos augita ( $(\text{Ca,Mg,Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ) y Diopsido ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), pertenecientes al grupo de los piroxenos cálcicos (Morimoto, N. 1988); y dentro de las Fracciones Fuertemente Electromagnética las fases principales son los piroxenos Augita y Diopsido, el anfíbol Actinolita y la Ilmenita, la cual está mayor representada en las clases granulométrica menores de 0.8 mm y mayores de 0.08 mm.

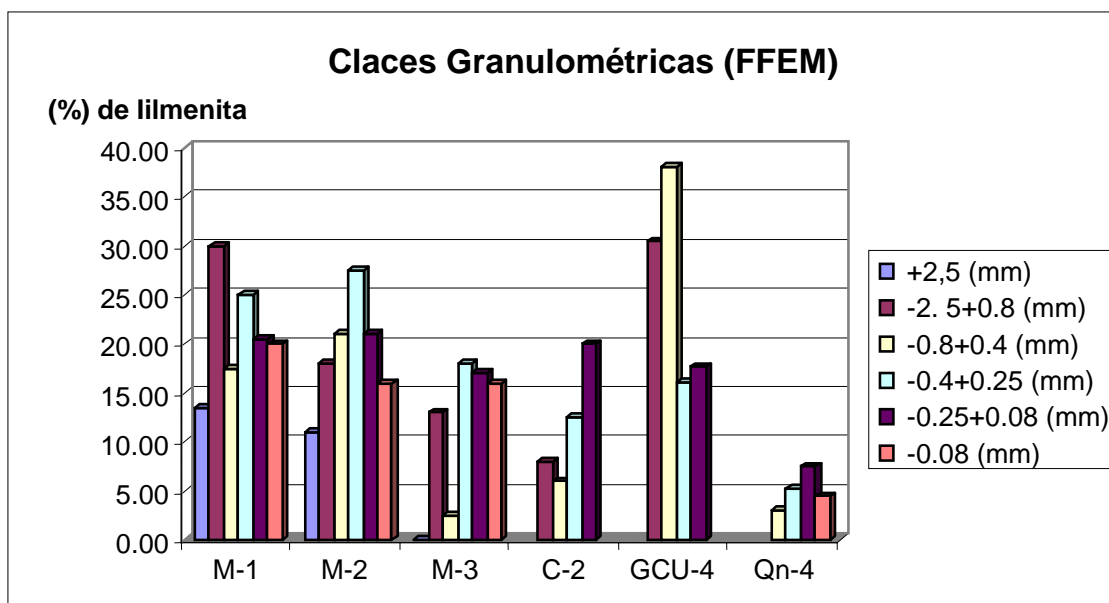


Figura 3. Por ciento de Ilmenita por clases granulométricas en la FFEM.

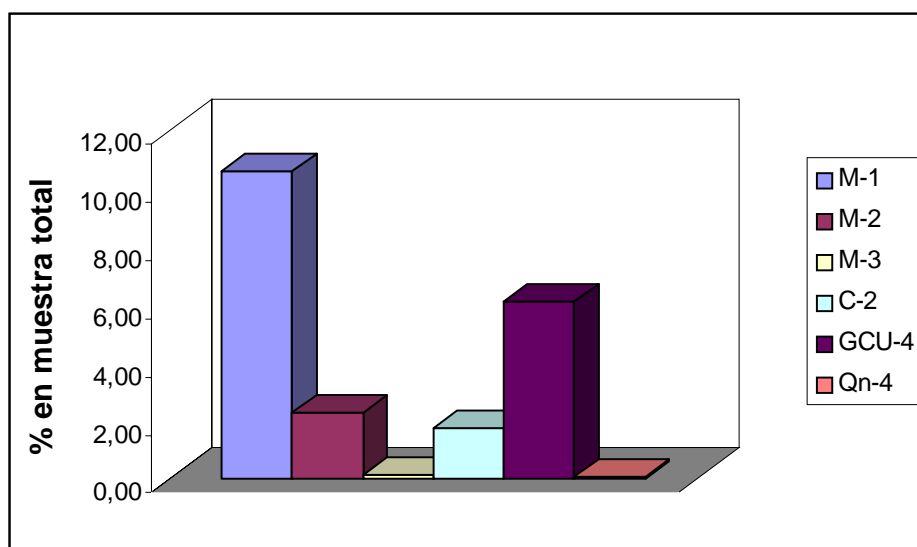


Figura 4. Por ciento de ilmenita en las muestras analizadas.

## CONCLUSIONES

- ✓ En la corteza sobre gabros la Ilmenita se concentra en las Fracciones Fuertemente Electromagnética, en la muestra C-2 la mayor concentración aparece en  $-0.25 + 0.08$  mm (20 %), en la muestra GCU-4 la mayor representación está en la clase granulométrica  $-0.8 + 0.4$  mm (38.07 %). Mientras que en la muestra Qn-4 perteneciente a la zona de Quemado del Negro la clase granulométrica con mayor contenido de Ilmenita es la  $-0.25 + 0.08$  mm con sólo un 7.5 %. Siendo las zona de las cuencas hidrográficas de los Río Cupey (6.32 %) y Cañete (1.76 %) la de mayores concentraciones de Ilmenita mientras que la zona del Quemado del Negro la de los menores valores de concentración de ilmenita encontrados (0.09 %).
- ✓ La Ilmenita encontrada en los cumulados máficos aparece en forma de microcristales alotriomórficos siguiendo los planos de exfoliación de los clinopiroxenos y en la mayoría de los casos alterada a leucoxeno.
- ✓ Los principales piroxenos formadores de los gabros de la zona de Cañete son la augita y el diopsido.
- ✓ La concentración de ilmenita encontrada en la corteza de meteorización formada sobre los gabros de la zona de Cañete, nos da una idea de que el magma que dio origen a estas rocas estaba más enriquecido de  $\text{TiO}_2$  que el que le originó a los gabros de las zonas de Quemado del Negro.
- ✓ La ilmenita de la zona de Cañete presenta contenidos de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  relativamente bajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Díaz, R. 1996. *Particularidades de la distribución del oro, platinoides y otros minerales pesados en los placeres laterales del noreste de Cuba oriental y su evaluación perspectiva. Tesis Doctoral. Departamento de geología ISMM.*
- Nechaev, V.P.; Isphording, W.C. 1993. *Heavy mineral assemblages of continental margins as indicators of plate tectonic environments. Journal of Sedimentary petrology*, 63(6): 1110-1117.

Rodríguez, A. 1995. *Aplicación del método de los concentrados pesados en la prospecciones y análisis metalogénico. Tesis Doctoral. ISMM.*

Rodríguez, R.M. 2000. *Estudio petrológico de las rocas de afinidad ofiolítica portadoras de ilmenita de la zona de Cayo Grande en el Macizo Moa-Baracoa. Tesis de Maestría, Departamento de geología, ISMM.*

## ANEXOS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	0,08	0,07	0,23	0,07	0,33	0,02	0,08	0,04	0,04	0,03
TiO <sub>2</sub>	49,38	49,07	49,33	49,25	49,55	50,44	49,96	50,44	50,01	49,47
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,34	0,37	0,29	0,32	0,30	0,46	0,44	0,43	0,41	0,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,55	3,84	3,78	3,56	3,32	1,95	2,64	2,84	2,47	3,61
MgO	0,06	0,13	0,10	0,12	0,22	0,09	0,06	0,10	0,05	0,04
CaO	0,52	0,47	0,56	0,45	0,52	0,11	0,20	0,09	0,11	0,36
MnO	3,05	3,03	2,70	2,84	2,92	4,41	4,74	4,44	4,42	4,64
FeO	41,45	41,02	41,61	41,37	41,41	40,99	40,26	40,93	40,65	39,85
Total	98,52	98,09	98,69	98,08	98,68	98,62	98,43	99,43	98,32	98,32
Si	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	1,91	1,90	1,90	1,91	1,90	1,94	1,93	1,93	1,93	1,91
Cr	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Fe <sup>3+</sup>	0,14	0,15	0,15	0,14	0,13	0,08	0,10	0,11	0,10	0,14
Mg	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Ca	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Mn	0,13	0,13	0,12	0,12	0,13	0,19	0,21	0,19	0,19	0,20
Fe <sup>2+</sup>	1,78	1,77	1,78	1,78	1,77	1,76	1,73	1,74	1,75	1,72

Tabla I. Resultados de Microsonda Electrónica en las Ilmenitas de los gabros de Cañete



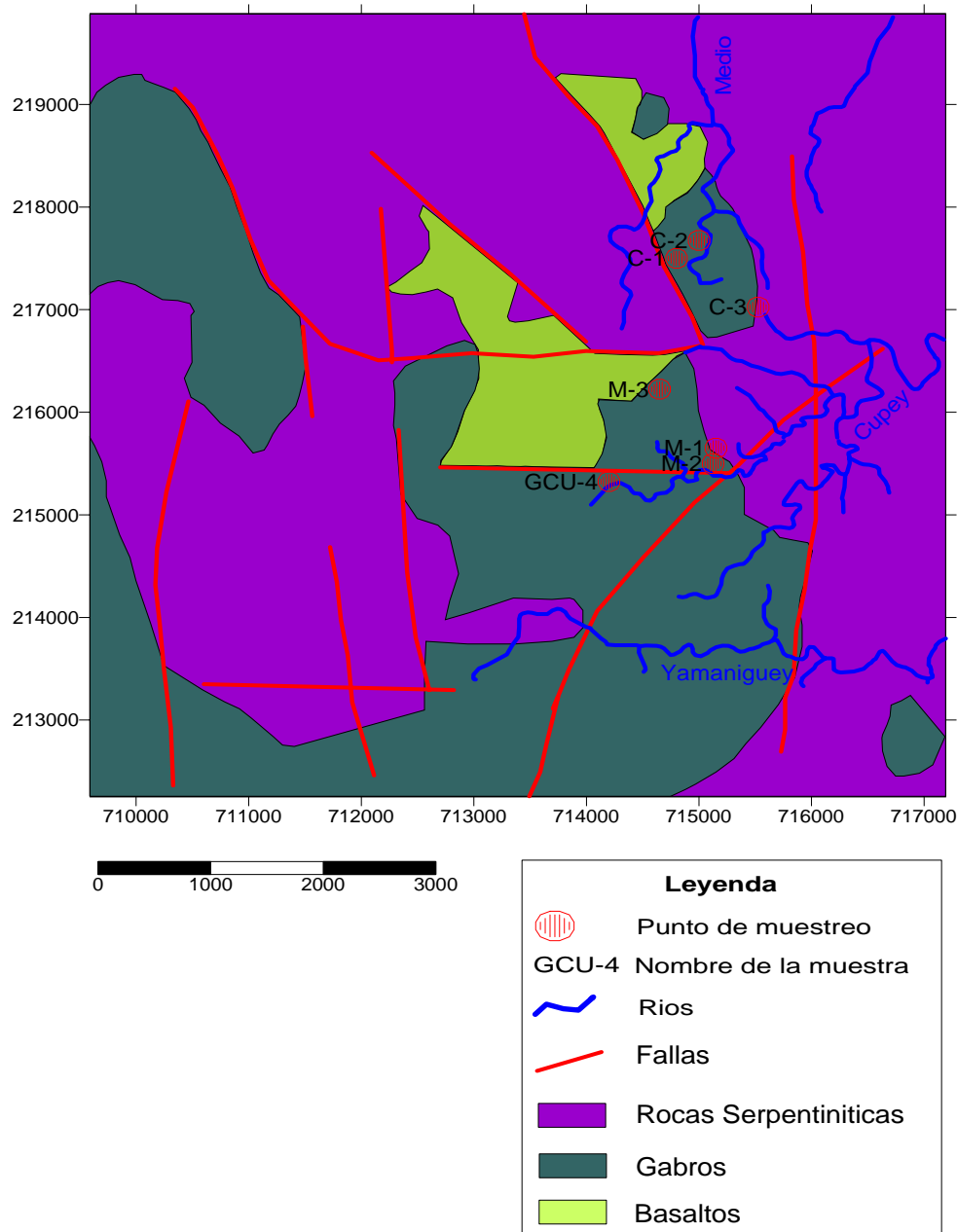


Figura 1. Esquema geológico y ubicación de muestras Zona Cayo Grande, Moa.





## **NUEVOS DESCUBRIMIENTOS DE MINERALIZACIÓN CUPRÍFERA EN LA REGIÓN NORTE DE LA GRAN PIEDRA, CUBA: SUS IMPLICACIONES.**

**Roberto Sánchez Cruz<sup>(1)</sup>; Pedro Ferro<sup>(2)</sup>; José A. Bárzana<sup>(2)</sup>; Noel Petrus Marcos<sup>(1)</sup>.**

(1) *Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca 1002 entre Calzada de Güines y Línea del Ferrocarril. San Miguel del Padrón, La Habana. email: [rscruz@igp.minbas.cu](mailto:rscruz@igp.minbas.cu).*

(2) *Empresa Geominera Oriente. Alturas de San Juan, Kilómetro 2.5 de la Carretera de Siboney. Santiago de Cuba. E-mail: [pferro@geominera.co.cu](mailto:pferro@geominera.co.cu);*

### **RESUMEN**

La hipótesis sobre la zonación metalogenética S-N en el Arco Volcánico Paleogénico (AVP) de la parte sur-oriental de Cuba, mayoritariamente en la Sierra Maestra centra su atención en una franja de dirección sublatitudinal, caimana, al norte de la parte axial del arco, donde aparece fundamentalmente mineralización sulfurosa: ejemplo, depósito El Cobre. En base a esa hipótesis las perspectivas del flanco N de la Gran Piedra para la aparición de mineralización cuprífera se reforzaron entre 1994-1996, cuando se descubrieron, dentro de un área de 53 Km<sup>2</sup>, 8 nuevos puntos de mineralización de Cu con contenidos entre 1-1.2%, entre otros 14 puntos mineralizados, durante la verificación de 19 anomalías HEM, vinculados al parecer con el Complejo Basáltico, donde aparecen las tobas aglomeráticas del miembro La Linner. Se establece la posible relación de la mineralización con la estructura vulcano-tectónica El Retiro en base a la interpretación geofísica. Se brindan las características de las zonas detectadas y se dan recomendaciones para la continuación de los trabajos de prospección.

Por analogía con la situación estructural del depósito El Cobre, se trata de explicar la mineralización cuprífera y aurífera al norte de la Gran Piedra. Las cercanías del campo Mineral Ponupo-Sultana, puede señalar la relación espacial (genética ???...) entre la mineralización de manganeso y la mineralización sulfurosa, tan próxima como la existente entre la mineralización sulfurosa de El Cobre y los depósitos de Mn de Botija-Los Chivos. Por sobre el obstáculo tectónico que significa el sistema de fallas NE Santiago y la cuenca de igual nombre, el sector Norte de la Gran Piedra, pasando por La Begoña, se relaciona por la latitud, hacia el oeste con el sector Gitanilla- El Pajuil-Los Guaos, dándose continuidad de esa manera a la faja sublatitudinal perspectiva para la aparición de la mineralización sulfurosa del AVP cubano de la Sierra Maestra, integrando por su metalogenia el accidente geológico de la Gran Piedra al accidente geográfico de La Sierra Maestra.

### **ABSTRACT**

The hypothesis on the S-N metalogenetic mineral distribution in the Volcanic Paleogenic Arch (VPA) in the south-oriental part of Cuba, in the Sierra Maestra mountains, fix their attention in a sublatitudinal-caiman belt, to the north of the axial part of the arch, where the sulphurous mineralizations fundamentally occurs, example: El Cobre deposit. Based on that hypothesis the perspectives of the northern flank of the Gran Piedra sector for the appearance of cupriferous minerals was reworked among 1994-1996, when were discovered, inside an area of 53 Km<sup>2</sup>, 8 new mineralised points for Cu with contents among 1-1.2%, among other 14 mineralised points, during the verification of 19 HEM anomalies, linked apparently with the Basaltic Complex, where the agglomerated tuff from La Linner formation appears. Based on the



geophysical interpretation, the possible relationship between cupriferous minerals and the vulcano-tectonic structure The Retiro was settled, giving the characteristics of the targets and recommendations for prospecting works.

For analogy with the structural situation of the El Cobre deposit, the occurrence of cupriferous and auriferous minerals in the northern part of La Gran Piedra sector can be explained. The proximity of Ponupo-Sultana manganese mineral field, may it point out the space relationship (genetics???) between the manganese minerals and sulphurous, as next as the existent one between the sulphurous minerals in El Cobre deposits and Los Chivos manganese deposit. The north of La Gran Piedra sector, passing over the tectonic obstacle that means the Santiago faults NE system and its equal basin names, from La Begoña, is related for the latitude, toward the west with the Gitanilla - El Pajuil – Los Guaos sectors, being given continuity from that way to the strip sublatitudinal perspective for the appearance of the sulphurous minerals in Sierra Maestra's Cuban VPA, integrating for its mineral perspectives the Gran Piedra geologic accident to The Sierra Maestra's geographical accident too.

## INTRODUCCIÓN

A partir de la aparición de la hipótesis sobre la zonación metalogenética S-N de la mineralización en el Arco Volcánico Paleogénico (AVP) de la parte sur-oriental de Cuba, mayoritariamente ocupado por las montañas de la Sierra Maestra (R. Sánchez Cruz et al. 1984), en lugar de la aceptada E-W (V. Alioshin et al 1975), aumentó la potencialidad de aparición de mineralización en los terrenos ocupados por el AVP. Dicha hipótesis centra su atención en una franja de dirección sublatitudinal a lo largo del arco, inmediatamente al norte de la parte axial de este donde afloran los plutones dioríticos, en la que debe aparecer la mineralización sulfurosa; el mejor ejemplo de este concepto: el depósito El Cobre. La relación espacial de la mineralización sulfurosa con las intrusiones sureñas no es discutida casi por ningún estudioso del sector, empero su relación dual con otras fuentes magmáticas, ubicadas paralelamente al norte del AVP, sean parte de los primeros estadios abortados de este durante su corrimiento al sur o parte del AVC que los autores citados sospechan al norte, brinda otra nueva dimensión, más perspectiva a la zona de vinculación del arco con el llamado sinclinal oriental, es en esa zona donde se centra la tarea que nos ocupa.

La región Norte de la Gran Piedra forma parte de este sector de articulación, y en base a esas hipótesis y luego de otros estudios regionales llevados a cabo en los alrededores del Campo Mineral de El Cobre así como luego de los resultados del levantamiento geológico a escala 1:50000 en esta región, R. Sánchez Cruz et al., 1983, 1984, 1993, supusieron las perspectivas de esa área para la aparición de mineralización cuprífera; perspectivas comprobadas durante los trabajos de reconocimiento regional en la concesión Sierra Maestra Oriental (SMOR), cuando se detectaron varios puntos de mineralización de este mineral en dicha región, "vinculados fundamentalmente con el Complejo Basáltico y con las tobas aglomeráticas del miembro La Linner en lugares afectados por las fallas de dirección SE-NW a sublatitudinal".

Por analogía con los tipos de menas presentes en el depósito El Cobre, la mineralización estratoligada, polimetálica, podría estar conservada hacia el N, la aparición de las fuertes potencias de San Luis y otras formaciones más terrígenas podrían haber ayudado a esto... Según el único modelo genético serio existente del depósito El Cobre, (X.Casañas 2001), la misma autora y otros, apoyados por datos



geofísicos (X. Casañas, et al. 2003) presupone la posible aparición de oro hacia el norte de El Cobre; los que conocen los datos del sector de la Gran Piedra, saben que no se ha podido explicar satisfactoriamente la aparición de oro en los análisis espectrales de las muestras de sedimentos de fondo de la región norte de la Gran Piedra, y la hipótesis brindada sobre su vinculación con los conglomerados Camarones no es satisfactoria... Las cercanía al área del campo Mineral Ponupo-Sultana, vuelve a traer a colación la relación espacial (genética ???...) entre la mineralización de manganeso y la mineralización sulfurosa. En este caso específico, la distancia entre la mineralización sulfurosa del sector N de la Gran Piedra y la mineralización manganífera del campo mineral Ponupo-Sultana es menor que la distancia entre la mineralización sulfurosa presente en el depósito El Cobre y los depósitos de Mn de Botija-Los Chivos. Si nos saltamos el obstáculo tectónico que significa el sistema de fallas NE Santiago y la cuenca de igual nombre, el sector Norte de la Gran Piedra a través del sector La Begoña emplazado hacia su parte occidental y también potencialmente perspectivo para la aparición de depósitos de sulfuros y de metales nobles, se articula perfectamente en la dirección sublatitudinal todavía más hacia el oeste con el sector Gitanilla- El Pajuil-Los Guaos, dándose continuidad de esa manera a la faja sublatitudinal perspectiva para la aparición de la mineralización sulfurosa del AVP cubano de la Sierra Maestra, integrando por su metalogenia el accidente geológico de la Gran Piedra al accidente geográfico de La Sierra Maestra, salvando claro está la distancia de la posición estructural más elevada del sector N de La Gran Piedra respecto a El Cobre...

Los objetivos del trabajo fueron la recopilación y generalización de la información precedente en el sector: geológica, geofísica, geoquímica, la integración de la información precedente con los datos de sondeos remotos, el deslinde de las principales secuencias estratigráficas y litologías del área, la revisión de las principales manifestaciones minerales detectadas con el consecuente establecimiento de su perspectividad, el control y revisión de todas las anomalías del sector, la determinación de la potencialidad mineral del área con el establecimiento de los criterios sobre la continuidad de los trabajos de prospección y la metodología de su realización.

Pese a los estimulantes resultados obtenidos, durante los trabajos de reconocimiento regional del sector, cuando se detectaron más de cinco puntos con mineralización mayor que 1% de cobre, en el lugar no se han realizado trabajos geológicos ulteriores de tipo alguno. Siendo un sector cubierto, de mediana dificultad de acceso y poco estudiado, este trabajo se dirige a demostrar que queda aún mucho por hacer en el estudio geológico de Cuba y en la prospección de sus riquezas minerales.

### **Generalidades**

El área de Norte de La Gran Piedra se encuentra enclavada en la parte más oriental de la Sierra Maestra, exactamente al Este de la Ciudad de Santiago de Cuba, y como su nombre lo indica, al N de ese accidente geográfico-geológico que es La Gran Piedra. El sector de interés posee unos 53 Km<sup>2</sup> y se extiende aproximadamente alrededor de las coordenadas:  $X_1=623000 - X_2=632000$  y  $Y_1=153000 - Y_2=158000$ , geográficamente al E del poblado de El Escandel. La zona se halla en la carta topográfica del ICGC. escala 1: 50 000 de la República de Cuba 5076-II Gran Piedra.



Las principales tareas a resolver durante la realización de los trabajos de revisión regional realizados en 1995, fueron la localización, revisión y muestreo de todos los puntos de mineralización, manifestaciones minerales, yacimientos y zonas de alteración hidrotermal reportados en la zona con el fin de detectar sectores de interés para la aparición de mineralización aurífera fundamentalmente, que dado el grupo de anomalías HEM (**H**elicopter **E**lectro **M**agnetic) que fueron detectadas, podría estar asociado además a depósitos de metales base. En la región no fueron encontrados hasta el momento elementos preciosos en cantidad apreciable, sin embargo, durante la revisión de las mencionadas anomalías HEM fue localizada la mineralización de Cobre. El trabajo fue realizado en dos etapas: la primera de reconocimiento regional cuyo fin único resultó la ubicación de los sectores más perspectivas dónde realizar los trabajos de prospección, a la que corresponde el presente trabajo y la segunda etapa correspondiente a los trabajos propiamente de prospección, los que no se han comenzado.

La región posee un relieve muy bien diferenciado, prevaleciendo una topografía montañosa, dónde se encuentran cotas absolutas desde 300m. hasta 1200m. y desniveles relativos en los rangos de 300m. a 900m. La zona más desmembrada corresponde a la parte central del sector, macizo de La Gran Piedra, dónde se desarrollan profundos valles en forma de V, cañones y estribos que se extienden en dirección meridional fundamentalmente. La periferia del sector de La Gran Piedra posee una accesibilidad aceptable, pues incluye las carreteras Santiago de Cuba-Guantánamo y otras, el resto de la zona está cubierta por caminos para todoterrenos y trillos de a pie y de a caballo. A escasos 20 km. del límite occidental del área se encuentra el puerto de Santiago de Cuba, segunda ciudad del país, con casi 400 000 habitantes, aeropuerto internacional y desarrollo de las industrias energética, textil, electrónica, de refinación de petróleo y turística.

Uno de los aspectos más significativos de la región lo es su elevada sismicidad, la mayor de Cuba. Las intensidades máximas para períodos de recurrencia de 20, 50, 100 y 1000 años, con una probabilidad del 90 % son respectivamente de 9, 9, 8 y 9 grados en la escala MSK. La zona del macizo montañoso de la Gran Piedra, coronado por la cima de igual nombre de 1226 m. de altitud, se encuentra en ascenso a razón de 1 mm anual al oeste y suroeste de las fallas Daiquirí y Baconao respectivamente. Las regiones aledañas se encuentran en equilibrio.

La red fluvial esta bien desarrollada; representada por arroyos y ríos de cauces estrechos en forma de "V" y corto recorrido, que descargan sus aguas hacia el norte y el sur a partir del parteaguas principal de la región de dirección sublatitudinal. La densidad de la red fluvial es de 1.5-2.0 km./km<sup>2</sup>. Los ríos y arroyos de la pendiente septentrional son más caudalosos que los de la pendiente meridional.

La aflorabilidad en la región es mayor en los arroyos y ríos y en las partes apicales de las elevaciones. En general el mayor problema radica en el fuerte grado de intemperismo de los afloramientos producto de la acción de un clima tropical de montaña. La mayor parte de los afloramientos está cubierto de musgos y mohos, producto de la humedad reinante, lo que dificulta la observación del terreno.



La región posee un endemismo bajo, con menos de 15 endémicos por distrito. Pese a que los alrededores de la Gran Piedra son una reserva de la biosfera, la zona de conservación no coincide por suerte con las partes más perspectivas de la región, lo que no afectará grandemente la ejecución de trabajos de prospección.

### **Constitución geológica regional.**

El carácter eminentemente volcánico de la mayor parte del terreno dónde se encuentra la zona, lo que provoca la ausencia de cortes continuos, es uno de los factores que complican la comprensión del corte estratigráfico de la región. Los otros factores se relacionan con la intensa tectónica, los procesos del metamorfismo local (fundamentalmente la skarnitización), y la falta de fósiles bien conservados.

Es comunmente aceptado por los geólogos que han trabajado en la región que las secuencias cretácicas presentes en ella no son más que bloques relictos del basamento cretácico que flotan dentro de las secuencias volcánicas del paleógeno. Sin embargo esta es la explicación más fácil del fenómeno: Vemos que autores como G. Kuzovkov durante sus trabajos desde 1984 hasta 1988 abogó por la presencia en algunos casos de ventanas cretácicas dentro de las secuencias volcánicas paleógenas. En la región, salvo la interpretación geofísica, tampoco se ha tenido suficientemente en cuentas la contribución que el análisis de las estructuras vulcano - tectónicas podría significar para la comprensión de la estratigrafía del área. Hasta el momento en que un esquema convincente sea propuesto y suficientemente comprobado en el campo, hemos utilizados los esquemas propuestos por los autores hasta dónde ellos no impliquen un posible error en el análisis metalogenético en los pequeños sectores aledaños a los yacimientos, manifestaciones minerales y los puntos de mineralización.

En ningún caso los trabajos de revisión realizados han estado dirigidos a aclarar ninguna de las hipótesis geológicas o dudas existentes sino sólo a demostrar la capacidad menífera de tal o cuál secuencia estratigráfica ?, litología o proceso de alteración primaria o secundaria.

El corte estratigráfico del sector está incluido dentro de lo que se conoce, según E. Linares 1986, como Zona Maniabón-Nipe-Sierra Maestra, Subzona Sierra Maestra. G. Kuzovkov et.al. 1988 adaptaron sus datos a ése esquema.

El inicio del desarrollo de la Sierra Maestra se vincula con el Subgrupo Inferior del Grupo El Cobre, petrológicamente basálticoide. La Fm. Cobre se forma sobre ésa superficie volcánica basálticoide. El ambiente de arco de islas quede bien mostrado en la asociación existente entre los paquetes fliohoides efusivo-sedimentarios y el vulcanismo más ácido. Al parecer el corte de la Fm. Caney indica un ritmo más reducido que empieza también con un vulcanismo ácido-medio y que presenta de manera mucho más subordinada la presencia del vulcanismo ácido pero muy marcadamente una amplia manifestación de la mineralización manganífera.

Las rocas calcáreas de las formaciones Puerto Boniato y Charco Redondo marcan el fin de la etapa volcánica y la formación terrígena San Luis indica la presencia de un ambiente subplatafórmico orogénico tardío. A partir de este nivel todas las formaciones pertenecen a la etapa subplatafórmica de edad neógeno-cuaternarias.

Como ya expresamos G. Kuzovkov 1988. describió de forma global los complejos vulcanógenos no estratificados vinculándolos paragenéticamente con las secuencias estratigráficas, de esa manera enlazó al subgrupo inferior del grupo El Cobre al complejo basáltico de la misma edad y a la formación Cobre con el complejo riódacítico.

Es criterio de la mayoría de los autores que han investigado la Sierra Maestra que sus rocas intrusivas y volcánicas se encuentran paragenéticamente vinculadas, formando una asociación plútono-volcánica con todas las fases que la caracterizan. Se considera asimismo que el magma originario que la generó fue tholeítico-basáltico.

En la región, las secuencias intrusivas conforman un cuerpo plutónico irregular que se extiende a lo largo de la costa sur oriental del sector por cerca de 20 Km. o más con un ancho que puede ser localizado en superficie entre los 2.0 y 5 km. Ambas dimensiones son discutibles a partir de los datos de la interpretación geofísica, donde las dimensiones calculadas por la extensión en profundidad del plutón son algo mayores: por su extensión, el intrusivo Daiquirí puede ocupar toda la parte litoral de la zona, más de 30 km. con un ancho máximo de 6-7 y hasta 9 km. En la periferia del macizo Daiquirí se observan toda una serie de pequeños cuerpos satélites cuyas partes apicales afloran entre las secuencias efusivo-sedimentarias y volcánicas.

En su conjunto el macizo está constituido por diferentes facies de las rocas lo que indica una evolución compleja durante su emplazamiento, asimismo, pueden observarse rasgos morfológicos inequívocos de una serie de cúpulas con ruptura semi anular que hablan sobre la presencia de estructuras plútono-volcánicas cercanas a la superficie. Todo este conjunto de las rocas intrusivas afloradas en las partes más erosionadas del macizo, los cuerpos satélites en forma de necks y las estructuras cúpuliformes conforman el macizo Daiquirí, cuya parte central de dirección NO-SE tiene forma anticlinal.

El cuerpo intrusivo está constituido en su mayor parte por rocas ácidas tonalítico-plagiograníticas, con una edad en su conjunto que se considera perteneciente al Eoceno Medio. Por su compleja constitución interna se encuentran de forma subordinada rocas de composición medio-básicas gabro-dioríticas.

Los contactos nortes del intrusivo son según datos geofísicos de carácter subvertical mientras que los sureños no pueden interpretarse, pues se extienden más allá de la faja costera. La presencia de xenolitos de las rocas encajantes y bloques flotantes de ellas sobre el complejo techo del intrusivo, indican un no muy alto nivel de erosión. R. Rodríguez 1988 dividió el conjunto de las rocas intrusivas en dos complejos: temprano; El Norte y tardío; Daiquirí. El complejo El Norte constituye la periferia del macizo, mientras que el complejo Daiquirí constituye su mayor parte. El primero está representado por rocas de la asociación gabro-diorítico-plagiogranítica y el segundo por rocas de la asociación tonalito-plagiogranítica de las series sódica y sódico-potásica respectivamente. Ambos complejos fueron subdivididos en cuatro distintas fases. Al parecer la mineralización a que nos referimos puede estar vinculada con este complejo El Norte.

La región N de La Gran Piedra está rodeada por toda una serie de estructuras anulares diferentemente estudiadas a lo largo del tiempo, pero cuyo estudio en general no pasa de la mera interpretación geofísica o fotogeológica, que han sido nombradas por E. Escobar et al. dentro de los trabajos de G. Kuzovkov 1988 como: San Carlos, Reunión, El Retiro, etc. Algunas de las estructuras volcánicas descritas que ya habían sido interpretadas a partir de los datos geofísicos por E. Escobar y R. Sánchez Cruz dentro de los trabajos de G. Kuzovkov et al 1988. citados y más tarde durante los trabajos de generalización por R. Sánchez, 1993 han sido recientemente reinterpretadas a partir del uso de fotos aéreas y en mucho menor cuantía cósmicas en el año 2001 por R. Pérez Aragón y otros, pero durante la ejecución de los trabajos de campo correspondientes a este trabajo en 1995, solo existían las interpretaciones de 1988 y 1993 citadas.

La Sierra Maestra Oriental está situada exactamente al norte de la gran falla de transformación Caimán-Bartlett lo que hace que sea una zona sísmicamente activa. La estructura tectónica principal del sector, el monoclinual de la Sierra Maestra incluye la parte más montañosa del sector, que es el horst anticlinal Gran Piedra, la que limita al norte con el Sinclinatorio Oriental en el graben sinclinal Songo-La Maya y al este y oeste con las cuencas de Guantánamo y Santiago de Cuba respectivamente. La interpretación de la tectónica incluye la presencia de tres pisos estructurales relacionados con las principales formaciones del área: piso inferior; Jurásico inferior-Cretácico superior, medio; Paleoceno-Eoceno medio y superior; Eoceno medio-Holoceno.

Las formaciones del piso medio, paleógeno, determinan la estructura tectónica principal de la región sobre las que flotan las estructuras del piso medio ( para estar de acuerdo con la concepción de G. Kuzovkov ) mientras que el piso superior lo ocupan las formaciones calcáreas y terrígenas más jóvenes.

Se considera que existen dos grupos de fallas de diferentes edades: Eoceno medio y Eoceno medio tardío, las primeras son las fallas profundas Sierra Maestra, Siboney y Daiquirí directamente relacionadas con la estructura vulcano-plutónica Sierra Maestra y las segundas más superficiales y con dirección predominante NO y sublatitudinal por ejemplo Baconao, El Indio, Gran Piedra, Sigua. Existen otros tipos de fallas secundarias de otras direcciones que determinan la estructura de bloques de la región. En el primer esquema tectónico regional donde se vincularon los datos de teledetección: léase fotointerpretación y geofísica (C. Capote, R. Sánchez Cruz et al. 1991) se señalaron las principales estructuras tectónicas del área de la Sierra Maestra; posteriormente, se realizó el desciframiento fotocósmico de las estructuras circulares en dicha región en tres distintos canales del espectro (C. Pérez, M. Villena, M. Calzadilla 1992). Ambos trabajos, fueron utilizados (R. Sánchez Cruz, et al. 1993) para el establecimiento de las hipótesis sobre la perspectividad del sector para la localización de depósitos epitermales de oro y de skarnes auríferos.

La inmensa mayoría de las fallas de la región son normales o con pequeños desplazamientos horizontales y las principales estructuras tectónicas de la región son las paleovulcano-tectónicas que por su relación con la mineralización en el área han sido consideradas durante la etapa de revisión y prospección de sumo interés.

Magnéticamente la zona puede ser subdividida en tres áreas de diferentes características: los mayores valores, más de +500nT se relacionan a las rocas del intrusivo Daiquirí, (las anomalías locales del orden de los miles de nT. se relacionan sólo con los procesos de skarnitización y los depósitos de minerales magnéticos); los valores del campo magnético variable de órdenes entre las -100nT. y las +500nT están relacionados los mayores con el complejo basáltico y los menores con el complejo riódacítico y los procesos de alteraciones hidrotermales y por último el campo magnético tranquilo, preferentemente negativo se vincula con el área de desarrollo de las secuencias terrígenas y terrígeno-carbonatadas hacia la parte norte del área.

Los mayores valores de la susceptibilidad magnética de las rocas lo poseen las rocas del complejo básico y las rocas intrusivas que al mismo tiempo son las rocas de mayor peso específico; de modo alterno, las rocas del complejo riódacítico son las más radioactivas de todas las secuencias producto de su composición más ácida, esto provoca que puedan ser exitosamente cartografiadas mediante sus contenidos de potasio.

La región de la Gran Piedra no difiere en nada en cuanto a sus características geofísicas del resto de la estructura Sierra Maestra.

La zonalidad metalogenética de la región de La Gran Piedra al igual que la del resto de la estructura Sierra Maestra puede explicarse mediante el esquema general propuesto por R. Sánchez Cruz, et al.1984 y que relaciona los depósitos minerales de Hierro a la franja S costera de la estructura, los depósitos de Cu y Cu-Mo asociados al agrietamiento de los intrusivos en esa misma faja fundamentalmente y que, siempre en dirección S-N vincula los depósitos de sulfuros y preciosos a la faja de articulación norteña a los plutones donde es más fuerte el desarrollo de las secuencias volcánicas, dejando, en la misma dirección N la última franja para el desarrollo de los depósitos de manganeso, vistos como las partes más apicales de los yacimientos de sulfuros y potenciando las inmediaciones más profundas de ellos para la prospección de esos minerales. Basado en esa zonación metalogenética, G. Kuzovkov et al. 1988, planteó las características específicas de ella en la región de La Gran Piedra, (Figura 1) donde puede observarse la región de Sigua en el límite E de la franja ferrosa sureña, ocupando por su posición el extremo más oriental de la estructura Sierra Maestra aflorada.

A priori y durante los trabajos realizados se recopiló toda la información sobre la mineralización detectada en el sector durante todas las investigaciones precedentes, listándose un catálogo de puntos de mineralización, manifestaciones minerales y pequeños yacimientos que fueron uno por uno remuestreados en diferente medida en dependencia de sus perspectivas de auricidad. Se revisaron además las zonas de alteración hidrotermal cartografiadas y en muchos casos se encontraron otros puntos mineralizados asociados a los conocidos o de nueva aparición.

La región de la Gran Piedra es históricamente una zona rica en la aparición de diferentes minerales, por lo cual en ella se han realizado un conjunto de investigaciones geológicas para la evaluación de esos recursos. Los recursos minerales históricamente evaluados en el área se relacionan principalmente con los Campos Minerales de el Hierro-Santiago y Cristo-Ponupo-Sultana, algo más al norte. El primero como su nombre lo indica relacionado con menas de Skarn Magnetítico y el segundo con menas de Manganese. Otras materias primas, fundamentalmente para la construcción, también han sido evaluadas, se destacan, los mármoles de Sigua y las arenas de granitoides alterados de Siboney-Daiquirí.

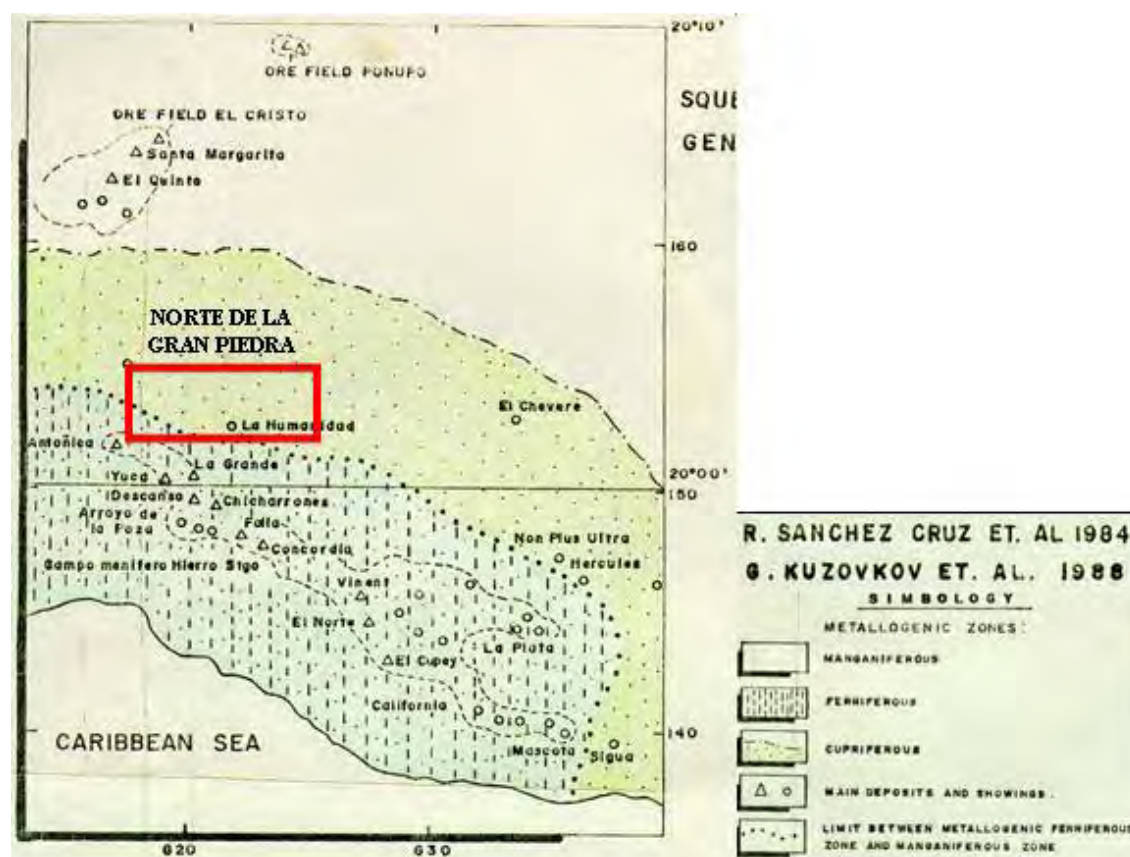


Figura 1. Esquema de la zonalidad metalogenética de la zona de La Gran Piedra.  
Puede observarse en el límite S del sector N de La Gran Piedra la manifestación de Cu Humanidad.

Anécdotas de muchos pobladores de la región dan fe sobre la extracción de otros minerales como oro y plata en la región de La Begoña, plata en zona de Sigua y cobre en Santa Ana, El Silencio etc. de la que son testigos muchos laboreos mineros abandonados y en muy pobre estado de conservación dado lo rudimentario de sus construcciones y sus edades.

En la parte sur del área, sobre las rocas dioríticas del macizo intrusivo Daiquirí se desarrollan las arenas de intemperismo las que se explotan de forma industrial. Asimismo se explotan las calizas de la formación Maya en el límite oriental del sector,





y artesanalmente algunos hornos para la confección de ladrillos para las construcciones de casas.

En la región de Sigua se evalúan reservas de rocas ornamentales aunque su calidad lamentablemente está muy disminuída por su agrietamiento algo parecido a lo que le sucede a otros sectores del intrusivo Daiquirí dónde fueron evaluadas las granodioritas para tal fin.

Con todo, los recursos más importantes de la región continúan siendo las menas magnetíticas del Campo Mineral Hierro Santiago. Las reservas de menas magnetíticas en el Campo Mineral ascienden a un total de 36 109,3 Kton.

A razón de las ideas de los autores sobre el posible vínculo entre las mineralizaciones de Manganese y Sulfuros, durante el estadio regional no se desaprovechó la oportunidad de la revisión de las principales manifestaciones de manganese del sector que en general son del tipo vulcanógeno-sedimentarios. En la región de La Gran Piedra entre yacimientos, manifestaciones y puntos de mineralización eran conocidos, hasta la culminación de estos trabajos, 221 puntos de hierro, cobre y manganese, (R. Sánchez Cruz, 1993). Además existen otros tipos de minerales de interés, cuya mayor parte no alcanza la categoría de depósito económico

## **METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS.**

Para enfrentar las tareas de la revisión de los puntos de mineralización y las zonas perspectivas seleccionadas se organizó una comisión de trabajo con base central de operaciones en la ciudad de Santiago de Cuba. Luego de la selección de los puntos de mineralización a revisar y la recopilación de materiales de interés para cada grupo de ellos en situaciones geólogo-geográficas semejantes: posibles fallas, contactos litológicos principales, variedades litológicas, anomalías geoquímicas y geofísicas (Mag y HEM), zonas de alteración hidrotermal y otros datos referentes a laboreos antiguos, se localizaba el punto seleccionado en el terreno mediante los itinerarios de revisión y muestreo. Si los resultados lo ameritaban, se realizan itinerarios complementarios para aumentar la densidad del muestreo, y obtener ideas adicionales sobre la estructura geológica. Además se realizó la revisión de anomalías geoquímicas y zonas de alteración, anomalías Magnéticas y de HEM detectados durante la compilación de los datos anteriores y la verificación terrestre de las anomalías detectadas a partir de los resultados del vuelo aerogeofísico complejo. Los trabajos de la revisión regional se completaron en el 100% del área aproximadamente. En la Figura 2 pueden observarse las zonas principales dónde se realizaron los trabajos de reconocimiento y muestreo en los alrededores del sector N de La Gran Piedra, los que se concentraron en las inmediaciones de las anomalías de HEM fundamentalmente, ya que en el sector no aparecieron muchos puntos de mineralización a raíz de los trabajos de compilación de la información

En el sector "Gran Piedra Norte" se revisaron 19 anomalías HEM. y 12 Puntos de Mineralización de Cobre los que en su mayoría se encuentran en los alrededores de las anomalías citadas. Se tomaron asimismo 161 muestras las que poseen resultados de ICP.





Figura 2 Mapa de Muestreo de afloramientos en los alrededores del sector Norte de La Gran Piedra.

## RESULTADOS DE LOS TRABAJOS: NORTE DE LA GRAN PIEDRA.

**Punto de mineralización 46:** con coordenadas ( X: 620040; Y: 156910 se localiza en las rocas del complejo basáltico. Se observó silicificación que por partes es intensa. A unos 200 m. al SW de elevación se observan vetas de carbonatos y hematita. No se localizó la mineralización de cobre.

**Punto de mineralización 49:** En la localidad de San Juan cerca del río Baconao con coordenadas X: 621000; Y: 156250. Aparecen las tobas aglomeráticas medio-básicas hematizadas cortadas por vetillas de carbonatos. Las rocas están algo zeolitizadas. No se observó malaquita.

**Anomalía No. 40:** Se observa en la localidad de La Linner en coordenadas (X: 627000; Y: 156500) aparecen algunas lavas o cuerpos andesíticos que cortan las secuencias tobáceas. Se observa un intenso brechamiento cortado por vetillas de carbonatos. Se observó malaquita y covelita. La anomalía se sigue por 1,5 Km. con Az. de 290° muy cercana a una falla regional.

**Manifestación de Cobre No. 65:** ( X: 627500; Y: 155500 ) se observaron bombas de basaltos dentro de las secuencias de tobas. Las rocas hematizadas están cortadas por vetillas de carbonatos. Se observó abundante malaquita. Las zonas de vetillas alcanzan potencias entre 2 y 40 m. de ancho.



**Punto de oro:** ( X: 627900; Y: 155800 ) se localiza a 1 km. al SW de la Linner y sobre un parteaguas con Az.320°. La situación es casi análoga a la anterior. No se observó mineralización de Cobre.

A partir de las comprobaciones preliminares realizadas se observó relación entre las anomalías y la mineralización vetítica carbonato-cuarzo-hematito-cuprífera que abunda en el sector y que al parecer se vincula en mayor grado con las piroclásticas de La Linner y con el complejo basáltico. Al parecer las rocas menos perspectivas son las correspondientes al desarrollo del miembro Alto de Villalón.

La descripción más detallada de las diferentes zonas es la siguiente:

#### **ZONA I:**

Se extiende por el rumbo SE-NW por más de 2 km. y esta formada por las anomalías 56 y 58 dentro de las rocas de La Linner y el complejo basáltico (CB).

Dentro del río Baconao en las coordenadas X: 622600 y Y: 156250 se pudo observar una gran zona de brechas de matriz volcánica hematitizadas y carbonatizadas, algo silicificadas que engloban fragmentos y bombas de basaltos y andesito basaltos con mineralización de cobre (malaquita). El corte tiene más de 40 m. de ancho y al sur de él, se registraron otras zonas de hematización con brechamiento y con mineralización de cobre ejemplo de ello la manifestación descrita en las coordenadas X: 623500 y Y: 154300, donde en una secuencia de tobas basálticas y aglomeráticas y basaltos se detectó mineralización de cobre nativo y malaquita. La potencia de la zona es de unos 5 m. y en sus salbandas se observó silicificación y caolinitización.

#### **ZONA II:**

Se orienta según rumbo SE-NW, paralelamente a la anterior y separada de ella por unos 700 m. Por el Az. 300° se extiende por unos 3 Km. y se encaja dentro de las mismas rocas ya descritas. A lo largo de ella aparecen las manifestaciones de cobre 50 y 57. Según el ancho de las anomalías detectadas esta zona parece ser de menor potencia que la Zona I ya descrita.

#### **ZONA III:**

Conformada por las anomalías 60 y 63 y una manifestación mineral, en ella se desarrolla una zona de alteración hidrotermal de hasta 500 m. de ancho y 1.5 km. de extensión, con rumbo SE-NW. que se encuentra ubicada paralelamente a unos 200 m. de la Zona II.

En rocas silicificadas y hematizadas con mineralización de cobre nativo y galenita se encontró un antiguo laboreo minero orientado casi al norte. Hacia el este la zona presenta fuerte hematización y carbonatización con abundante malaquita y cobre nativo siguiéndose por un parteaguas de Az. 290° por más de 1 km. La zona de brechas tiene entre 20 y 50 m. de ancho.

#### **ZONA IV:**

Ubicada en la parte NE del sector y orientada por el Az. 25° está constituida por la anomalía EM. 54 que se orienta a lo largo de un arroyo y las manifestaciones de cobre 48 y 52, ambas al sur. Entre rocas del complejo andesito basáltico y del



miembro La Linner se observan vetillas con potencias desde 1 cm. hasta 20 - 30 cm. que conforman zonas de hasta 20 m. y más de alteración con carbonatización, hematización, silicificación y barita con presencia de cobre nativo, malaquita y otros minerales secundarios de cobre. la zona puede relacionarse con grietas de arranque genéticamente asociadas a una falla de dirección NW-SE que se extiende por la parte norte del sector.

Se revisaron las anomalías EM. No. 61 y No. 63 tomándose 12 muestras entre ambas. Estas anomalías se encuentran en el extremo oeste del bloque aerogeofísico 1A Norte de la Gran Piedra.

En el extremo del bloque, dentro de las anomalías AE.61 y 63, citadas se observan secuencias de lavas y tobas basálticas con alteración hidrotermal. Las alteraciones observadas son la hematización, carbonatización, y silicificación. Se observaron también sulfuros de cobre, barita y pirrotina.

En el lugar aparecieron dos socavones paralelos orientados de sur a norte con longitudes de 10 m. y 6 m. respectivamente en los que apareció mineralización de calcopirita, pirita y carbonatos de cobre, que en ocasiones puede ser intensa.

En el sector Gran Piedra Norte se reveló un solo punto interesante para la mineralización aurífera con alrededor de 800 ppb de contenido de oro en los alrededores de la localidad conocida como Villanueva en el borde superior izquierdo del área mostrada.

Durante los trabajos de revisión y en dependencia de los resultados de los análisis de las muestras enviadas al laboratorio, se comprobaron las buenas perspectivas del sector para la aparición de mineralización cuprífera principalmente de carácter industrial vinculada fundamentalmente con el Complejo Basáltico y con las tobas aglomeráticas del miembro La Linner en aquellos lugares afectados por las fallas de dirección SE-NW a sublatitudinal.



Figura 3. Resultados de los análisis para Cobre en el Norte de La Gran Piedra.

Una mejor idea de esta afirmación se obtiene al analizar los mapas geoquímicos correspondientes al sector. Los mapas fueron preparados analizándose distintas variantes de procesamiento de los datos. Las variantes presentadas son una selección para ilustrar los mejores resultados obtenidos.

En la figura 3 se muestran los resultados principales de este trabajo, donde pueden ser observados los puntos de muestreo que resultaron favorables por sus contenidos anómalos de Cu. Se destacan solamente los puntos con más de 0.2 % de contenido. Los círculos de mayor diámetro y color verde oscuro, alrededor de 8 puntos, corresponden a lugares donde los contenidos de cobre oscilan entre 1% - 1.2 %. Es notable que las contenidos de Cu detectadas en el punto Humanidad, anteriormente conocido, fueron pobres. Lo más relevante de los resultados obtenidos es que las concentraciones interesantes se relacionan además con anomalías HEM detectadas durante los vuelos realizados, lo que magnifica su perspectiva.

Los mejores resultados durante el procesamiento de los datos geoquímicos del sector se obtuvieron con la inclusión de direcciones de procesamiento correspondientes con la dirección general de las estructuras geológicas en el área (N60°W), aproximadamente como se hallan todas las estructuras que bordean la inclusión del plutón Daiquiri y en correspondencia con la antigua yacencia sublatitudinal Caimana de las secuencias estratigráficas más antiguas. No obstante ello, los resultados alrededor del punto conocido como La Reunión (extremo inferior izquierdo del sector), muestran una dirección cuasi ortogonal a la citada, comprobando otra vez el hecho del control tectónico de la mayoría de las mineralizaciones presentes en la Sierra Maestra y de la importancia que las direcciones NE y NW juegan en el control de la mineralización.



La zona principal que se que con más o menos éxito puede ser seguida en los mapas de los diferentes elementos químicos analizados se extiende con un Azimut de 300° aproximadamente entre los poblados de Nueva Sofía y Villanueva, e incluye los alrededores de los poblados de La Sofía, Casales, La Linner, Nueva Escocia y San Miguel, marcando el límite entre las secuencias volcánicas del arco paleogénico de la Sierra Maestra y las secuencias más jóvenes y terrígenas hacia en comienzo del sinclinal oriental. El largo de la zona de interés es de unos 9.0 Km. de largo y aproximadamente 2.0 Km. de ancho donde la intensidad de la anomalía que las conforma puede seguirse aproximadamente por la isolínea 0.2% de contenido. Por supuesto los alrededores de los puntos de muestreo testados positivos alcanzan intensidades de hasta 0.5 % de contenido. Inmediatamente puede ser observado en los mapas de los elementos Ag, Ba, Pb, Zn como se reproduce aproximadamente la misma situación descrita, salvando la diferencia que incluye la utilización de menores contenidos de los elementos analizados. El conjunto de mapas de los elementos principales en el área demuestran en cierta medida la especialización metalogénica del sector orientada hacia las perspectivas de aparición de metales base.

Como complemento se presenta el análisis de los campos físicos en la región. Se analizaron los datos de la matriz aerogeofísica de Pinares de Mayarí, rescatada para la ocasión por N. Petrus, y correspondiente a los resultados del informe de igual nombre (Chang, J.L. et al 1990), sin embargo todo el procesamiento de los datos presentado fue realizado nuevamente para este trabajo. El rescate de la matriz original de datos incluyó, la limpieza y organización de ellos y su nivelación, en diferentes software.

Generalmente todo el conjunto de mapas geofísicos presentado fueron procesados con anisotropía 3 (tres veces el largo respecto al ancho) y una dirección de búsqueda de N25°-30°W . El mapa de Ig (intensidad gamma total) muestra una clara línea anómala en la dirección principal antes mencionada, que se extiende aproximadamente entre los poblados de Nueva Sofía-La Linner-Nueva Escocia, con intensidades de hasta 1.5 mr/h, de manera muy semejante a lo acontecido con los mapas geoquímicas, aunque de manera más marcada el borde NE de la zona descrita. Con intensidad mínima de 0.3-0.4 mr/h se cartografía una zona en la parte central inferior de la región, cercano al lugar conocido como El Desierto, a la que se asocian contenidos entre 0.2-0.5 % de cobre.

El conjunto de mapas gammaespectrométricos del sector, demuestra una especialización eminentemente uranífera y potasífera, según la litología presente y los cambios hidrotermales sufridos por las rocas, durante los distintos eventos volcánicos. En el mapa de potasio del área, en la figura 4, coincidente con la estrecha y larga anomalía de Ig descrita, aparece también un conjunto de anomalías de K de hasta 2.2 %, de dirección NW que cartografían el borde NE del área de interés ya descrita. Se detectaron máximos de la concentración de potasio de hasta 3.4% en los alrededores de la manifestación Humanidad que en ocupan una posición conjugada NE a la cartografiada como borde NE de la zona de interés. El sector subcentral igualmente presenta intensidades mínimas en la concentración de K de 0.2% - 0.3%. Igual disposición de las anomalías, estrechas y alargadas, puede ser observada en el mapa de U(Ra), donde se muestran los resultados de la concentración de este elemento en las rocas.



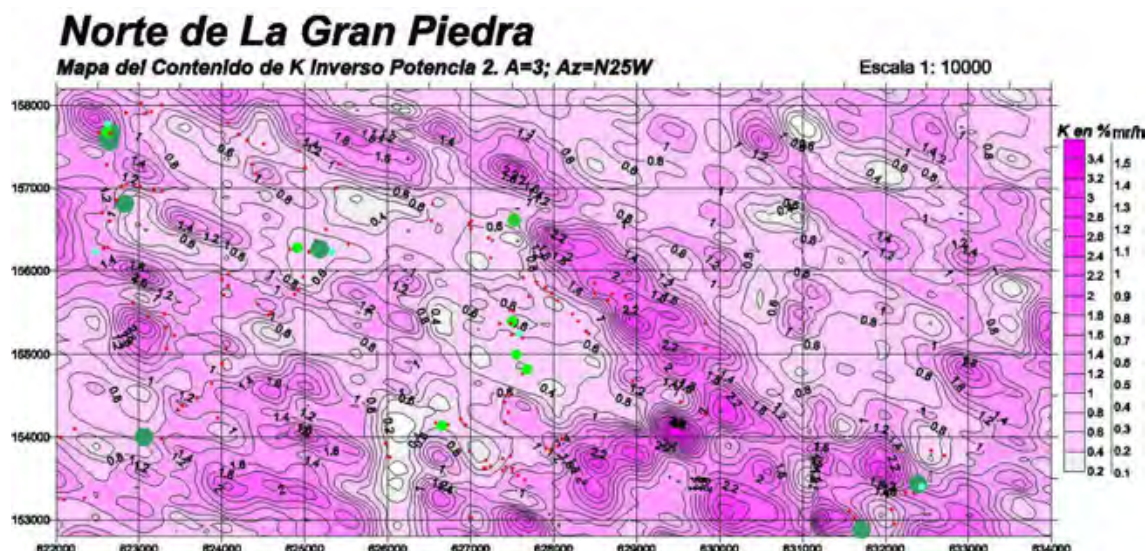


Figura 4. Mapa de los contenidos anómalos de K en % en el N de La Gran Piedra.

La máxima concentración de uranio en la zona anómala alargada alcanza el orden de los  $4.0 \times 10^{-4}$  ppm. Intensidades mínimas ocurren asimismo en el sector de El desierto que se cartografían con valores menores que  $0.5 \times 10^{-4}$  ppm. Puede ser seguida igualmente la zona anómala de dirección NE cercana a Humanidad. Los datos de la concentración de Thorio aproximadamente repiten el mismo patrón señalado; baste decir que los contenidos máximos detectados alcanzan los  $7.0 \times 10^{-4}$  ppm, e igualmente se cartografía el sector de El Desierto como un mínimo de la concentración de Th. El desarrollo de la zona de mínimos espectrométricos en esa zona puede tener que ver con la aparición en el lugar de rocas de composición más básica, donde primen los minerales oscuros.

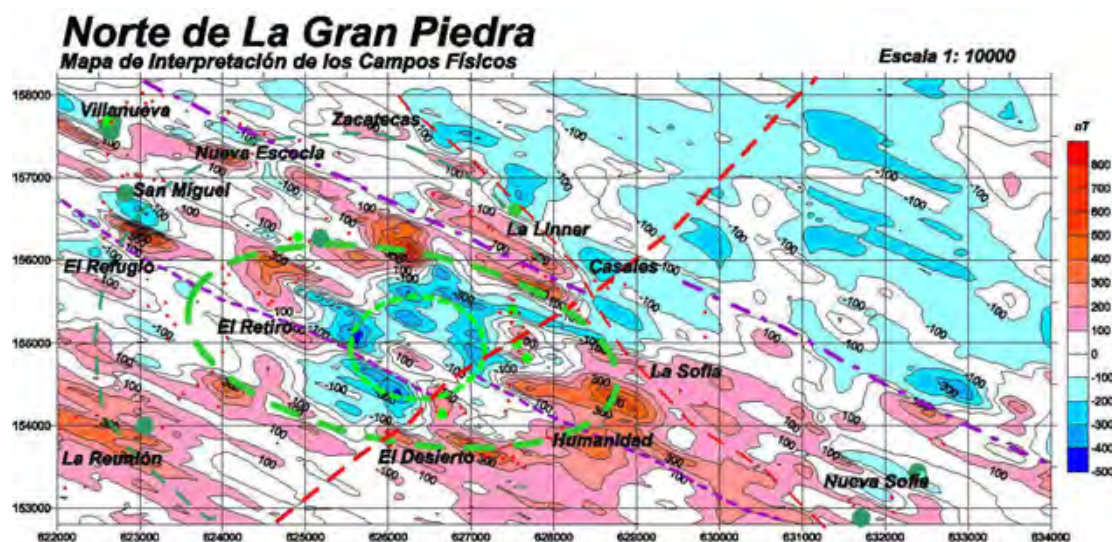






Figura 5. Mapa de Interpretación de los Campos Físicos del sector Norte de La Gran Piedra sobre la base del Campo Magnético Anómalo Ta en nT .

El campo magnético en la región oscila entre las intensidades de -500nT y + 800nT (Figura 5). A diferencia de las anomalías de borde de dirección NE cartografiadas con los mapas gammaespectrométricos y reflejadas en los mapas de la concentración de los distintos elementos macro principales, en este mapa se observa un cambio sustancial del nivel de campo magnético con igual dirección y sobre el mismo lugar en que la gammaespectrometría marca el límite NE del sector de alteración Nueva-Sofía-La Linner-Nueva Escocia. Hacia la parte sud occidental del área se cartografía una zona de valores eminentemente variable entre las intensidades arriba citadas, pero preponderantemente positiva, donde los mínimos juegan su papel de conjugados en las anomalías de campo complejas. Hacia la parte nororiental, el campo magnético es eminentemente negativo y su intensidad varía entre 0 nT y -200 nT , -300 nT. El límite marca sin dudas el fin de la presencia de las secuencias más volcánicas y el inicio de las secuencias del sinclinal oriental. Con dirección N25°-30°W puede ser seguida en la parte centra una zona de campo magnético algo más elevado, donde se hallan las mayores anomalías positivas del sector y que se corresponde con el sector ya descrito por sus características geoquímico-radioactivas, sin embargo pueden notarse serios desplazamientos en la linealidad de las anomalías que sin dudas tienen relación con la presencia de dislocaciones de ruptura y que poseen la dirección NE ya cartografiada en los alrededores de El Desierto.

El rasgo más remarcable del mapa magnético, lo es sin lugar a dudas el campo magnético negativo que a manera de anomalía cuasi circular es observado en los alrededores de El Desierto. Esa anomalía negativa con una intensidad de hasta -500 nT y generalmente de -100nT, -200 nT se extiende en forma elíptica con el semieje mayor orientado en dirección NE y con dimensiones de 3.0 Km. x 2.0 Km. a lo largo de sus semiejes aproximadamente. El centro de esta anomalía negativa es ocupado por una pequeña anomalía positiva de +200 nt, posiblemente el centro del neck volcánico. Una serie de anomalías positivas del orden de las +300nT y hasta las +800nT circundan a manera de anillo esa zona negativa del campo magnético. Una segunda disposición de anomalías positivas de una menor intensidad, algo más alejadas del centro negativo puede ser observada circundando el primer anillo anómalo, formando un segundo anillo muy bien representado en el NW y más o menos incompleto hacia el sudeste, quizás producto del cercano límite cercenado y restringido por el procesamiento de los datos.

El conjunto de anomalías y rasgos hasta aquí presentados apuntan hacia la existencia en la zona de El Desierto de una estructura paleovolcánica muy bien definida. Los mínimos magnéticos interiores, coincidentes con los mínimos radioactivos señalan un posible paleo cráter de composición básica o medio-básica. A tenor con el conocimiento anterior estimamos que la estructura paleovolcánica cartografiada no es otra que la conocida por señalada (E. Escobar, R. Sánchez, J. Acosta et al. Dentro de G. Kuzovkov et al. 1988) estructura vulcano tectónica El Retiro.

La cartografía de dicha estructura paleovolcánica, la existencia de las anomalías de HEM con que se comenzaron las investigaciones en el área, y la aparición de mineralización anómala de cobre de más de 1%, potencian la perspectiva del sector

para la prospección de depósitos minerales de sulfuros. En la figura 5 se muestra sobre la misma base del mapa magnético Ta del sector algunos elementos principales para la comprensión de la estructura física del área con la expresión de las partes más perspectivas para la prospección de Cu y otros metales base.

La citada estructura paleovolcánica El Retiro, bien pudo ser la fuente de las soluciones mineralizantes causantes de los procesos de alteración hidrotermal y la mineralización en el área. Su ubicación dentro de una zona de fracturas potencia aún más su perspectiva. Según la interpretación mostrada puede suponerse un flanco oriental a la falla más elevado en dirección NE respecto al flanco occidental, esta interpretación juega bien con los datos de sismicidad del sector y con el mecanismo general dinámico que provoca el arrastre del S de Bartlett hacia Santo Domingo y las huellas que deja este avance en la línea costera y el parteaguas principal de la cordillera de la Sierra Maestra en el S del oriente cubano (R. Sánchez Cruz et al. 1984). La zona al parecer más perspectiva enmarcada dentro de las líneas punteadas magenta, involucra en su flanco NE la cadena de anomalías potasio-uraníferas anteriormente descritas, empero la vinculación de la mineralización a la estructura paleovolcánica El Retiro obliga a considerar asimismo el interestructura circundante al paleo cráter y su sistema de fallas anulares, el que obligatoriamente debe existir, como perspectiva para las ocurrencias minerales y de ahí la existencia de otros puntos mineralizados como La Redención, El Refugio etc. Que no se inscriben dentro del patrón principal descrito.

En el mapa magnético del sector Pinares de Mayarí correspondiente al Levantamiento Aero Gamma Espectrométrico 1: 50000 de Cuba: en el sector Norte de la Gran Piedra, se observa una pequeña anomalía negativa de -100nT, -200nT de carácter elíptico y emplazamiento sublatitudinal, seguramente la expresión en esta escala de la estructura paleovolcánica El Retiro e inmediatamente hacia el occidente, más allá de la ciudad y puerto de Santiago de Cuba, alrededor de los límites de la cantera de explotación de la mina de El Cobre se puede observar una anomalía magnética también negativa de igual intensidad y análogo emplazamiento, aunque de mayor extensión coincidente con al paleoestructura volcánica El Cobre ("EVT El Cobre" según E. Escobar, F. Mondelo et al. 1991). Igualmente ocurre con el mapa de los contenidos de potasio de la región: en ambos sectores pueden observarse ligeras anomalías de 1.0% -1.5% de muy parecida morfología. Salvando la distancia que impone la posición estructural en el corte estratigráfico y considerando la génesis de ambas muy parecidas y relacionadas al vulcanismo desarrollado durante el funcionamiento del Arco Volcánico Paleogénico (AVP), las características de ella son hartamente parecidas lo que apunta otra vez hacia la perspectiva del sector Norte de la Gran Piedra y a la aseveración de que debemos apostar por la realización de nuevos trabajos geológicos en el área.

## CONCLUSIONES

1. En el Sector "Norte de La Gran Piedra" fueron descubiertos 8 nuevos puntos de mineralización con contenido industrial cuprífera, en las secuencias volcánicas y vulcano-sedimentarias básicas y medio básicas de edad eocénica, demostrándose la perspectiva del sector Norte de La Gran Piedra para al menos el tipo de mineralización VMS que lo hacen un blanco muy perspectivo para la realización de trabajos de prospección geológica.

2. Significó un éxito la redefinición, a partir de la interpretación realizada, de estructuras volcánicas enterradas, vinculadas a la mineralización: Estructura Vulcano Tectónica "El Retiro". El descubrimiento de esta mineralización indica la necesidad de revisión de las áreas donde se cartografían las Estructuras Vulcano Plutónicas en sus sistemas de alteración hidrotermal.
3. Las diferentes transformaciones realizadas en el sector Gran Piedra a los datos aerogeofísicos, brinda nuevos detalles acerca de la Estructura Vulcano Plutónica "El Retiro" y sobre la Estructura alargada mineralizada "Nueva Sofía-La Linner-Nueva Escocia", la primera revelada fundamentalmente con la aeromagnetometría y la segunda revelada con aerogammaespectrometría.
4. Los trabajos de reprocesamiento de la información HEM han posibilitado la detección de las anomalías que resultaron en nuevos cuerpos geológicos perspectivas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

**ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA Y ACADEMIA DE CIENCIAS DE LA URSS (1970).** Atlas Nacional de Cuba.

**ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA Y ACADEMIA DE CIENCIAS DE HUNGRIA (1981).** "Informe del Levantamiento Geológico a escala 1:100 000 de la provincia de Oriente". IGP.

**Capote Marrero, C.; R. Sánchez Cruz; J.P. Lledías; M. Santa Cruz Pacheco; E.M. Escobar. 1992.** "Rasgos Estructurales en los Arcos de Islas de Cuba". In Geological Conference of Caribbean 13, Pinar del Río, Cuba. 1992. Abstracts.

**Casañas, X.; A. Peldiakov; R. Sánchez Cruz; M. Guerra; M. Pérez; M. Pardo; P. Stanek; E. González, 1989.** "Mineralización de tipo Skarn magnetítico en la Sierra Maestra". I Congreso Cubano de Geología y Geología del Caribe Occidental, La Habana, 1989.

**Casañas, X.; A. Peldiakov; E. Escobar; M. Guerra, et.al. 1990.** "Resultados del Tema 401-02. Evaluación de las Perspectivas de Mineralización de Skarn en el Campo Mineral Hierro –Santiago" IGP. La Habana 1990.

**Chang Bravo, J.L.; G. Grevnirov; A. Brodovoi. 1990,** "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las Provincias de Santiago de Cuba, Holguín, Gramma y Guantánamo, (Sector Pinares de Mayarí)". Archivo O.N.R.M. Inv. No. 3915. IGP. Inv. No. 60.

**Donskij, V.V. et al. (1988).** Las estructuras vulcano-tectónicas de la Sierra Maestra. Su tipificación y origen. I Congreso Cubano de Geología. La Habana.

**Escobar Pérez, E.M.; R. Sánchez Cruz, 1983.** "Algunas Consideraciones sobre las perspectivas de Aparición de Mineralización Cuprífera en la Sierra Maestra". I Conferencia Científico Técnica de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1983.

**Escobar, E.M.; R. Sánchez Cruz. 1988.** "Zonación Gravi-magnética y Modelo Físico-Geológico profundo de la región de la Gran Piedra". III Conferencia Científico Técnica de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba 1988.



- Escobar Pérez, E. M.; F. Mondelo. 1991.** "Estructura Vulcano Tectónica El Cobre. Características Físicas Regionales". IV Conferencia Científico de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1991.
- Izquierdo, J.M.; V. Sherchniov; A. Fernández; E. Escobar; V. Donskij; R. Sánchez Cruz; M. Estrugo; M. Torres; J. Rodríguez; M. Gentoiu; H. Dieguez; J. Cobo. 1991.** Informe del Tema 401.03 "Fundamentación de las Direcciones de Prospección Preliminar y Prospección Detallada para Cobre en la Región del Campo Menífero El Cobre, Incluyendo la Cuantificación de los Recursos Pronósticos". Archivo IGP. La Habana.
- Kuzovkov, G.; Arseniev, Y.; Sánchez Cruz, R.; Quesada Melo, R. (1977).** "Informe sobre los resultados del levantamiento geológico a escala 1:100 000 realizado por la brigada Sierra Maestra en la pendiente sur de la cresta del Turquino en la parte oeste de la provincia de Santiago de Cuba durante los años 1975-1976". Centro Nacional de. Fondo Geológico.
- Kuzovkov, G.; Zinchenko, V.; Alcaide, J.; Escobar, E.; Durañona, D.; Cobián, T.; Sánchez Cruz, R.; Guerra, M.; Rodríguez, R.; Méndez, I.; Gelis, B.; Lay, M.; Mondelo, F.; Rodríguez, M. (1988).** Informe sobre el levantamiento geológico a escala 1:50 000 y sus búsquedas acompañantes en escala 1: 10000 y 1: 5000 ejecutado en el área de la Gran Piedra al este de Santiago de Cuba en los años 1983-1987.ONRM. La Habana.
- Lavadero R.; J.Montano; J. Moreira, R. Sánchez Cruz, J. López Kramer, J. Cruz, et al. 1999** "Modelos Geológicos los Principales Yacimientos Auríferos de Cuba". Resúmenes del III Congreso Cubano de Geología. La Habana 1999.
- Méndez, I. 1997.** "Apuntes sobre el vulcanismo del Paleógeno en la región Sierra Maestra, características de su composición química". En "Estudios sobre Geología de Cuba", Furrázola-Núñez eds., 424-444 pp.
- Moreira, J.; J.L. Torres Zafra; J.L. Montano; A. Morales; I. Altarriba; F. Bravo; A. Suárez; B. Echevarría; D.J. Carrillo; J.L. Chang y D. González, 2000.** "Reevaluación metalogénica del potencial de recursos mineros de metales preciosos y base en Cuba oriental". Inédito Instituto de Geología y Paleontología.
- Nagy, E.; Brezsnysanszky, K.; Brito, A.; Coutin, D.P.; Formell, F.; Franco, G.L.; Gyarmatti, P.; Jakus, P. y Radocz, G.Y. (1976).** "Texto Explicativo del Mapa Geológico de la provincia Oriente a escala 1:250 000 levantado y confeccionado por la Brigada Cubano-Húngara entre 1972-1976". Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Parker, M. 1993.** "Using Old Geophysical Surveys: Problems and Solutions. ITC. Journal 1993-2. Special Issue.
- Pérez Almaguer, E. 1999.** "A New Approach to Improving the Quality of Older Generation Gamma-Ray Spectrometry Data: a Case Study from N.E. Kibaran Belt, central Africa. Thesis for Master in Science degree. ITC. The Netherlands. 1999.
- Pérez, M; M. Gorova; G. Kuzovkov. 1979.** "Características generales del Magmatismo de la Sierra Maestra". Revista La Minería en Cuba. Vol.5, No.1.
- Pérez Pérez, C.M.; M. Calzadilla; M. Villena. 1987.** Resultados del tema 314-14 "Utilización de la Teledetección para la Cartografía Tectónica de la Sierra Maestra". Informe Inédito.Fondos de Instituto de Geología y Paleontología.
- Pérez Pérez, C.M.; D. García, C. Cañete; F. Sánchez Menéndez. 1994.** "Tectónica de la Sierra Maestra y áreas adyacentes". Informe del Resultado 555. Archivo IGP. La Habana

- Pérez Pérez, C.M.; D. García Delgado. 1998.** "Tectónica de la Sierra Maestra (Sureste de Cuba), *in* Furrázola-Bermúdez, G., and Núñez Cambra, K., eds., Estudios sobre Geología de Cuba: La Habana, Centro Nacional de Información Geológica.
- Prieto Cainzos, R.; Padilla, I.; Lufriú, L.; Sánchez Cruz, R.; Fernández, J.; Prieto, F. (1993).** "Informe de los resultados del levantamiento aerogeofísico complejo en el Territorio de las provincias Granma y Santiago de Cuba (S. Maestra). Archivo CNFG, 179 p.
- Rodríguez Basante, B. 1998.** "Radioelement distribution and interpretation of Gamma-Ray Spectrometric Data". Literature Review. EXG-2 Course 1998-1999. ITC. The Netherlands .
- Rodríguez Crombet, R.; M. Rodríguez; A. Yassel. 1998,** Características del magmatismo granitoideo de Cuba Oriental (región Sierra Maestra), *in* Furrázola-Bermúdez, G., and Núñez Cambra, K., eds., Estudios sobre Geología de Cuba: La Habana, Centro Nacional de Información Geológica.
- Russell, N., Kesler, S.E., Bell, D. (1995).** Metallogeny of The Sierra Maestra, Cuba. SGE Annual Meeting, A-239.
- Russell, N.; J. Moreira; R. Sánchez Cruz. 2000** "Volcanogenic Massive Sulphide Deposits of Cuba. P. 241-258 in VMS Deposits of Latin América, Geological Association of Canadá, Mineral Deposit Division. Special Publication No.2 (SRK Consulting & Smithsonian Institution. 2000).
- Sánchez Cruz, R. 1983.**"Nueva Metodología para la Búsqueda de Polimetálicos y Cobre en las Condiciones de la Sierra Maestra". I Conferencia Científico Técnica de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1983.
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1984.**"Perspectivas de Aparición de Menas Magnetíticas en la Sierra Maestra al Oeste de Santiago de Cuba". Conferencia Especial en el V Aniversario de la S.C.G. La Habana 1984.
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez; C.M. Rosales Junco, 1984.** "Mineralización de Hierro y de Cobre y su Vínculo Tectono-Magmático en La Sierra Maestra". VI Congreso Centroamericano de Geología, Managua, Nicaragua. 1984.
- Sánchez Cruz, R.; T. Correa Pérez. 1984.** " Características Petrofísicas de las Principales Litologías presentes en la Cordillera de la Sierra Maestra". Inédito. Preparación para obtención del Grado de Doctor en Ciencias Geólogo Mineralógicas. Moskovskii Geologorazbiedoshnii Institiut "Sergó Orchonikidze (MGRI)" Moscú, Rusia. 1984.
- Sánchez Cruz, R.; E. Escobar; A. Núñez Carthy. 1984.** "Propuesta Metodológico-Organizativa para la evaluación de las Perspectivas Meníferas del Gran Parque Nacional Sierra Maestra". Santiago de Cuba 1984. Propuesta al MINBAS para la realización de trabajos de Prospección. Inédito.
- Sánchez Cruz R.; J. Griffith. 1986.** "Características de la Radioactividad de las rocas y menas de la Sierra Maestra. Más de 24000 mediciones in situ, 1986. Resúmenes III Conferencia Científica de la S.C.G. Filial Ciudad de La Habana.
- Sánchez Cruz, R. 1993.** "Compilación de todos los datos Geológicos, Geofísicos y Geoquímicos de la Región de la Gran Piedra". IGP – David R. Bell Consultories, St.Catharines, Ontario, Canadá. (en Inglés)
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1993.** " Aspectos Geólogo-Geofísicos de la aplicación de diferentes modelos metalogenéticos, para la prospección de oro en la región de la Gran Piedra". GEOCIENCIAS'93, Filial Oriental de la Sociedad Cubana de Geología, ( SCG ). 1993.





- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1994.** "Aproximación al Modelo Físico-Geológico del Arco Volcánico Paleogénico Cubano". II Congreso Cubano de Geología y Minería. Santiago de Cuba, 1994.
- Sánchez Cruz, R.; P. Ferro Espinosa; J.A. Bárzana Rodríguez 1997.** "Informe de cierre de los trabajos de Reconocimiento Regional realizados por la AEI CaribGold Mines Inc.-Geominera S.A en la Región de La Gran Piedra, Propiedad Sierra Maestra Oriental SMOR". ONRM
- Sánchez Cruz R.; N. Russell; P. Ferro; J.A. Bárzana; E.M. Escobar; R. Lavandero.** " Nuevo Mapa de Minerales Útiles de la Gran Piedra con énfasis en las mineralización aurífera a escala 1: 25000". III Congreso Cubano de Geología. La Habana 1998.
- Sánchez Cruz R.; E.Escobar; X.Casañas; N.Petrus; A.Oviedo, 2002.** "La Región de El Cobre: Un Reanálisis de su favorabilidad mineral desde el punto de Vista Geofísico". V Congreso Cubano de Geología. La Habana 2003.
- Sánchez Cruz, R.; E. Escobar Pérez; M. Pérez; N. Petrus; A. Oviedo.** "El Arco Volcánico Paleogénico y la Consanguinidad entre sus Estructuras Vulcano Plutónicas: un acercamiento geofísico al problema. En preparación, Comunicación Verbal.
- Sánchez Menéndez, F. 1974.** "Resultados Preliminares de la Interpretación Geofísica del Levantamiento Sierra Maestra". Resúmenes (Tomo II) I Jornada de Geología y Geofísica. DGGG. La Habana. 1974.
- Sánchez Menéndez, F. 1987.** "Estructura Profunda de la Región de la Sierra Maestra a partir de Datos Geofísicos". Autoreferat. Instituto de Minas de San Petersburgo, Rusia 1987.





## VISITA VIRTUAL AL MUSEO DE GEOLOGÍA DEL ISMM DE MOA, CUBA.

**Arturo Rojas Purón<sup>1</sup>, Miguel Lores.<sup>1</sup>, Gerardo Orozco Melgar.<sup>1</sup>, Andrés Salazar Moreno.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ISMM Facultad de Geología y Minería. Las Coloradas C.P. 83 329.  
Departamento de Geología del ISMM. E mail: [artrojaspuron@ismm.edu.cu](mailto:artrojaspuron@ismm.edu.cu)

### RESUMEN

Constituye una página web en la cual el usuario puede realizar una visita virtual al Museo de Geología "Antonio Calvache Dorado" del ISMM. Nuestro museo puede visitarse virtualmente mediante dos vías principales, con el uso de la página web directamente o dentro de la misma página web empleando al opción de video. Durante la visita virtual el internauta puede conocer las principales colecciones de minerales en la sección de Mineralogía, rocas en Petrografía y fósiles en la sección de Paleontología. Aquí se destaca la colección de minerales del grupo del cuarzo, con sus ágatas y drusas, los elementos nativos oro, cobre, grafito, los sulfuros pirita, cinabrio, los óxidos de magnetita, hematita y zafiro entre otros, sulfatos tenemos yeso, la fluorita se destaca por su belleza, y numerosos carbonatos: calcita, malaquita, azurita, rodocrosita, además de pequeños bloques de mármol. Se tomó en cuenta algunos minerales cubanos, como cuarzo granular y cristal de roca, magnesita de Moa, mineralización sulfurosa de la Carlota, la paragénesis cromita y uvarovita de la zona de Cayo Guam. La colección de rocas expone ejemplares de rocas sedimentarias: areniscas, ígneas como gabros y cuerpo de pegmatitas, materiales volcánicos: bomba, lava y cenizas volcánicas. Microfósiles y fósiles según los principales era y períodos geológicos se exponen en la sección de Paleontología. Esta versión permite su completamiento y enriquecimiento posterior, en la cual aparecerá inventariado las muestras existente en el museo, la colección de intercambio intermuseos, los sitios en las esferas de la geociencia de interés.

### ABSTRACT

It constitutes a page web in which the user can carry out a virtual visit to the Museum of Geology "Antonio Calvache Dorado" of the ISMM. Our museum can visit one another virtually by means of two main roads, with the use of the page web directly or inside the same page web using to the video option. During the virtual visit the visitor can know the main collections of minerals in the section of Mineralogy, rocks in Petrography and fossils in the section of Paleontology. Here its stands out the collection of minerals of the group of the quartz, with their agates and drusys, the elements native gold, copper, graphite, the sulfides pyrite, cinnabar, the oxides, hematite and sapphire among other, sulfates have plaster, the fluorite stands out for its beauty, and numerous carbonates: calcite, malachite, azurite, rhodochrosite, besides small marble blocks. It took into account some Cuban minerals, as granular quartz and rock glass, magnesite of Moa, sulfurous of the Carlota, the mineral associations chromite and uvarovite of the area of Guam Key. The collection of rocks exposes copies of sedimentary rocks: gritty, igneous as gabbros and pegmatite body, volcanic materials: bomb, washes and ashy volcanic. Microfossils and fossils according to the main ones were and geologic periods are exposed in the section of Paleontology. This version allows its completely and later enrichment, in which will appear inventoried the existent samples in the museum, the collection of exchange among museum, the places in the spheres of the geoscience of interest.

## INTRODUCCIÓN

El museo de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM), Holguín, Cuba, constituye una institución docente y cultural presente en esta alta casa de estudio de la Educación Superior Cubana, ubicada en la parte oriental de nuestro país. En el se conserva y expone una valiosa colección de minerales, rocas y fósiles, fruto del acopio y conservación por parte de varios investigadores de la geociencia cubana y extranjeros, de muestras de diferentes localidades tanto de carácter nacional como internacional.

Actualmente el museo se utiliza como una institución docente durante la impartición del conocimiento de los materiales que constituyen la corteza terrestre principalmente, además existen muestras de meteoritos, que amplían la variada de objetos en exposición.

Dada la importancia didáctica de estos materiales geológicos y su gran contribución al conocimiento de las ciencias Geológicas, como la Mineralogía, Petrografía y Paleontología, a la luz de poder utilizar las nuevas técnicas de información científica, como es el empleo de la internet, ha surgido este trabajo de visita virtual a nuestro Museo de Geología, como una forma más de conocer nuestra valiosa y preciosa colección de minerales, rocas y fósiles, lo cual se irá incrementando paulatinamente, sobre la base de la contribución de los propios usuarios e investigadores de la Geociencia, tanto cubanos como extranjeros.

En la confección de la presente visita virtual se ha tomado la experiencia de otras páginas web de museo de Mineralogía y Geología, como las de los museos españoles, entre los que se destaca el Museo de don Felipe de Borbón, con una curiosa visita virtual. Además de los Estados Unidos de Norteamérica, otra interesante la de los minerales italianos, así como la de universidad de Córdoba, Argentina y en México la de Morelia. Resultó útil la experiencia de Urrea, 1988, en el museo de la Facultad de Minas de la Universidad de Medellín, Colombia, donde expone las características de dicho museo y la disposición de minerales y rocas que poseen. Fue necesario consultar la clasificación de minerales expuesta por Hurlbut y Klein, 1985, según las diferentes clases de minerales, al igual que lo expresado por Milovski y Kononov, 1988, para las colecciones rusas de rocas y minerales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como constituye una página web, los materiales empleados fueron los registros fotográficos digitales, tomados de las colecciones de muestras minerales, rocas y fósiles presentes en el Museo de Geología del ISMM de Moa. Se logró filmar las tres secciones de exposición: Mineralogía, Petrografía y paleontología, lo cual constituye un video sobre dicha visita virtual.

Se necesitó del empleo del Microsoft Front Page, para la elaboración y montaje de la presente visita según página web, con las facilidades que brinda el sistema Microsoft Office.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Visita Virtual al Museo de Geología

Nuestro museo de Geología "Antonio Dorado Calvache" puede ser visitado por usted de forma virtual recorriendo las opciones que la presente página web le ofrece, mediante la cual usted podrá conocer nuestras muestras minerales, de rocas y fósiles que hemos conservado durante más de 27 años de fundado nuestro Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Las tres secciones principales que usted puede visitar, quedan ilustradas en las vistas siguientes, a partir de la cual puede comenzar su visita:

- **Mineralogía**
- **Petrografía.**
- **Paleontología.**

La sección de Mineralogía se inicia a partir de la figura 1, en la cual aparecen los diferentes grupos o clases de minerales en los cuales el usuarios puede incursionar o visitar.

Así tenemos que para visitar las diferentes colecciones de minerales tiene las siguientes vitrinas de observación: Elementos Nativos, Sulfuros y compuestos similares, Óxidos e Hidróxidos, Cuarzo y sus variedades, Carbonatos, Sulfatos y otros, Silicatos y Minerales cubanos.

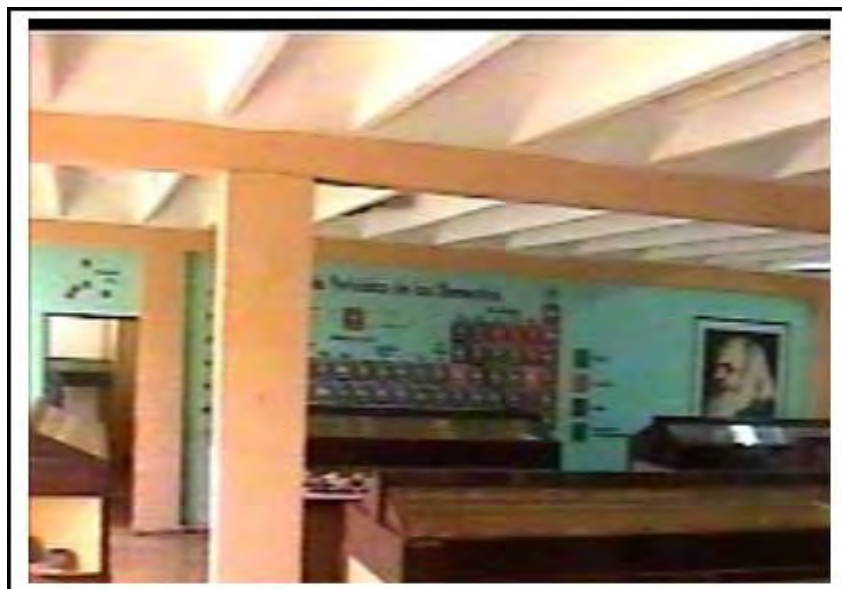


Figura 1. Vista panorámica del salón de Mineralogía del Museo de Geología del ISMM de Moa, Holguín, Cuba.

Entre los minerales de la vitrina de Elementos Nativos y Sulfuros, se puede observar:



**Figura 2. Muestras de azufre nativo (izquierda) y galena (derecha) del salón de Mineralogía.**

En la vitrina de Sulfuros y Compuestos Similares, se pueden observar, minerales de colores definidos, como el cinabrio y la esfalerita, esta posee además un nítido brillo adamantino:



**Figura 3. Muestras de cinabrio (izquierda) y esfalerita (derecha) del salón de Mineralogía.**

Entre los minerales de la vitrina de Óxidos e Hidróxidos, se pueden observar:



**Figura 4. Vitrina de los óxidos e hidróxidos, con muestras de hematite negra y roja del salón de Mineralogía.**



Ya en la vitrina de cuarzo y sus variedades, una de las más significativas que posee nuestro museo, podemos encontrar toda una variedad de minerales del grupo de la sílice, desde drusa, como la mostrada en la figura 5, a la derecha, hasta ágata, crisoprasa, amatista, entre otras.



**Figura 5. Vitrina de los minerales del cuarzo, una drusa de cuarzo del salón de Mineralogía.**

En la vitrina de los carbonatos resulta notable observar minerales como la calcita, y la malaquita. Aquí es notable la variedad Espato de Islandia, figura 6, a la izquierda.



**Figura 6. Muestras de calcita (izquierda) y Malaquita del salón de Mineralogía.**

Además tenemos, en la vitrina de los Sulfato, Fosfatos y otros,



**Figura 7. Muestras de yeso, punta de flecha (izquierda) y fluorita del salón de Mineralogía.**





Una vitrina muy numerosa es la de los silicatos, entre las principales muestras vale exponer, los granates de forma dodecaédrica rojo oscuro y otro de cromo, uvarovita (verde) de la zona de Cayo Guam en Moa. Por otra parte, una muestra de talco, con su típico brillo anacarado y otro mineral muy difundido en el macizo ofiolítico del oriente cubano, el crisotilo – aspecto acompañado de una muestra de mica.



**Figura 8. Muestras de granates: variedad didodecaédrica (izquierda) y uvarovita del salón de Mineralogía.**



**Figura 9. Muestras de granates: variedad didodecaédrica (izquierda) y uvarovita del salón de Mineralogía.**

Si desea conocer más sobre los minerales, puede visitar la Página web de Mineralogía, Puede identificarlos usted mismo con el WebMineral.

En el segundo salón, el de Petrografía y Paleontología, puede continuar la visita virtual, como lo señala la figura siguiente, donde encontrará muestras de rocas de los tres grandes grupo según su génesis: ígneas o magmáticas, metamórficas y sedimentarias.





Figura 10. Vista panorámica del salón de Petrografía del Museo de Geología del ISMM de Moa, Holguín, Cuba.

Entre las muestras de rocas que podemos observar encontramos las siguientes:



Figura 11. Muestra de colada de lava (izquierda) y una pegmatita con cromita del salón de Petrografía.

Otra sección dentro de este segundo salón, lo constituye la parte de fósiles, en la cual se puede explorar o conocer las muestras en exposición, a partir de la siguiente figura, no sólo es el problema de los dinosaurios, tan familiar entre nuestros niños y los filmes hechos al respecto, sino también, otras muestras de interés.



Figura 12. Vista panorámica del salón de Paleontología del Museo de Geología del ISMM de Moa, Holguín, Cuba.

Ya en esta sección se puede observar fósiles como en la muestra de travertino como se ilustra en la figura 11.



Figura 13. Muestra de roca carbonatada con huellas de hoja fósil del salón de Petrografía.

### Aspectos organizativos del Museo.

- [Personal](#) que trabaja en el Museo de Geología.



- [Programa general de actividades](#) que oferta para la comunidad el Museo de Geología.
- El **horario normal** en que funciona al público es:  
lunes a viernes de 8:00 a 11:00 a.m. y de 2:00 a 4:00 p.m. Se aceptan visitas dirigidas, previa coordinación con la dirección del museo.
- **Servicios** que oferta el museo en el área de la Geociencia.

Además, si desea **conocer**:

- **Aspectos elementales** relacionados con la **Mineralogía, Petrología y Paleontología**.
- **Publicaciones** realizadas por nuestros docentes e investigadores que trabajan en nuestro Museo de Geología.
- **Líneas de investigación** de nuestros docentes.
- **Currículum Vitae** del personal del Museo.
- **Direcciones de Internet** de otros museos del mundo.
- **Softwares** utilizables para la identificación de minerales, rocas y fósiles.

Usted constituye el **visitante número**\_\_\_\_\_.

El **criterio** sobre su visita nos interesa, favor de **escribirla**:

--

Esto nos estimula a seguir trabajando y orientarnos mejor para el futuro, que es el futuro de todos.

## CONCLUSIONES

- Se establece mediante la presente página web, la posibilidad de conocer, según una visita virtual, el tesoro mineralógico, petrográfico y paleontológico del Museo de Geología, presente en la parte oriental de nuestro país.
- Permite interactuar con página web relacionadas con la identificación y la actividad con rocas, minerales y fósiles de la Geociencia.
- Facilita el acceso a la colección de minerales, fósiles y rocas, de forma virtual para la enseñanza de las Mineralogía, Petrografía y Paleontología.
- Permite la informatización en la enseñanza de la Geociencia, empleando una institución tan importante como el museo de Geología, que comprende tres grandes ciencias: Mineralogía, Petrografía y Paleontología.

## BIBLIOGRAFÍA

Urrea, G. 1988. Museo de Mineralogía de la Universidad Nacional de la Facultad de Minas. Revista Dyna. No. 111. ISSN 0012-7353. pp 55-56.  
Hurlbut C.S.; Klein C. 1985: Manual of Mineralogy. John Wiley and Sons. New York. 596 p.  
Milovski O.V.; Kononov V. 1988: Mineralogía. Editorial Mir. 460 p.



## SOFTWARE EDUCATIVO “APRENDIENDO GEOLOGÍA”

**Angélica María Díaz Valdivia , Raydel Toirac Proenza**

(1) *Universidad de Pinar del Río, Martí #270, Pinar del Río, CP: 20100. E-mail: angelica@admin.upr.edu.cu*

### RESUMEN

Este trabajo presenta una multimedia educativa, con la que se pretende introducir a niños entre 9 y 11 años al mundo de las ciencias geológicas, a través de la computación, siendo un medio, además, para la práctica de las habilidades informáticas aprendidas o por aprender; así como servir de material didáctico para la educación ambiental en nuestras escuelas primarias y círculos de interés relacionados con el tema y para los maestros que imparten la asignatura de Ciencias Naturales. Todo el contenido conjugado en un mundo de imágenes fijas o en movimiento, grandes íconos, colores vivos, personajes interactivos, sonidos, juegos y muchos elementos más que hacen del audiovisual una estrategia para el incremento de la motivación de los alumnos hacia el aprendizaje.

### INTRODUCCIÓN

El uso de las Nuevas Tecnologías de la Información, se está extendiendo, hoy día, a todos los ámbitos y niveles educativos. “Inicialmente la multimedia educativa acepta que, tanto los recursos de movimiento, como los de sonido y figuras, parecen dinamizar las tareas de aprendizaje que se presentan a los estudiantes mediante el ordenador, lo que ha llevado a considerar su alto valor en la motivación hacia el aprendizaje”.<sup>(1)</sup>

Este audiovisual está encaminado a los inicios de la enseñanza de la Geología en adolescentes y niños, principalmente de quinto y sexto grado. Pretende, a través de la computación, despertar el futuro deseo de estudiar la carrera de Geología, ofreciendo conocimientos básicos de esta ciencia y de temas medioambientales, de forma que sea una herramienta para la educación ambiental en nuestras escuelas; además de ser una vía para la práctica de las habilidades básicas de la informática. Incluye temas generales de la Geología y del tema ambiental como las características principales del planeta Tierra; las rocas; los minerales; la Hidrogeología; la Paleontología; así como algunos puntos de interés de todos, como los terremotos, volcanes y glaciares; también contiene un espacio para la temática medioambiental y otro para la presentación de la ciencia, a través de varias preguntas: que es Geología; que es un geólogo, cuales son sus herramientas?, etc. Todo se presenta de forma compacta y dinámica, utilizando la metodología pedagógica necesaria para la enseñanza en los niveles propuestos, en una multimedia o software educativo que utiliza varios métodos para llegar a los niños de manera activa: un personaje que representa a un geólogo (con su piqueta en mano), que es el protagonista de toda la película, con el que supuestamente los usuarios deben identificarse, él presenta la multimedia y está constantemente acompañando al niño en la travesía; imágenes fijas y en movimiento relacionadas con los temas



tratados y otros; también existe la forma de llamar su atención y comprobar si el niño ha aprendido durante su recorrido por la multimedia: un juego en forma de laberinto con preguntas sobre todos los puntos, varias curiosidades y un glosario de términos, que se presenta de forma peculiar, a través de palabras calientes (se subraya la palabra que podría inferir dificultad y su significado se muestra en una ventanita aparte). Esperamos, a buen término, poner en práctica esta herramienta en todas las escuelas posibles, para el desarrollo futuro de una educación ambiental mucho más enraizada en nuestros niños y jóvenes.

## Descripción

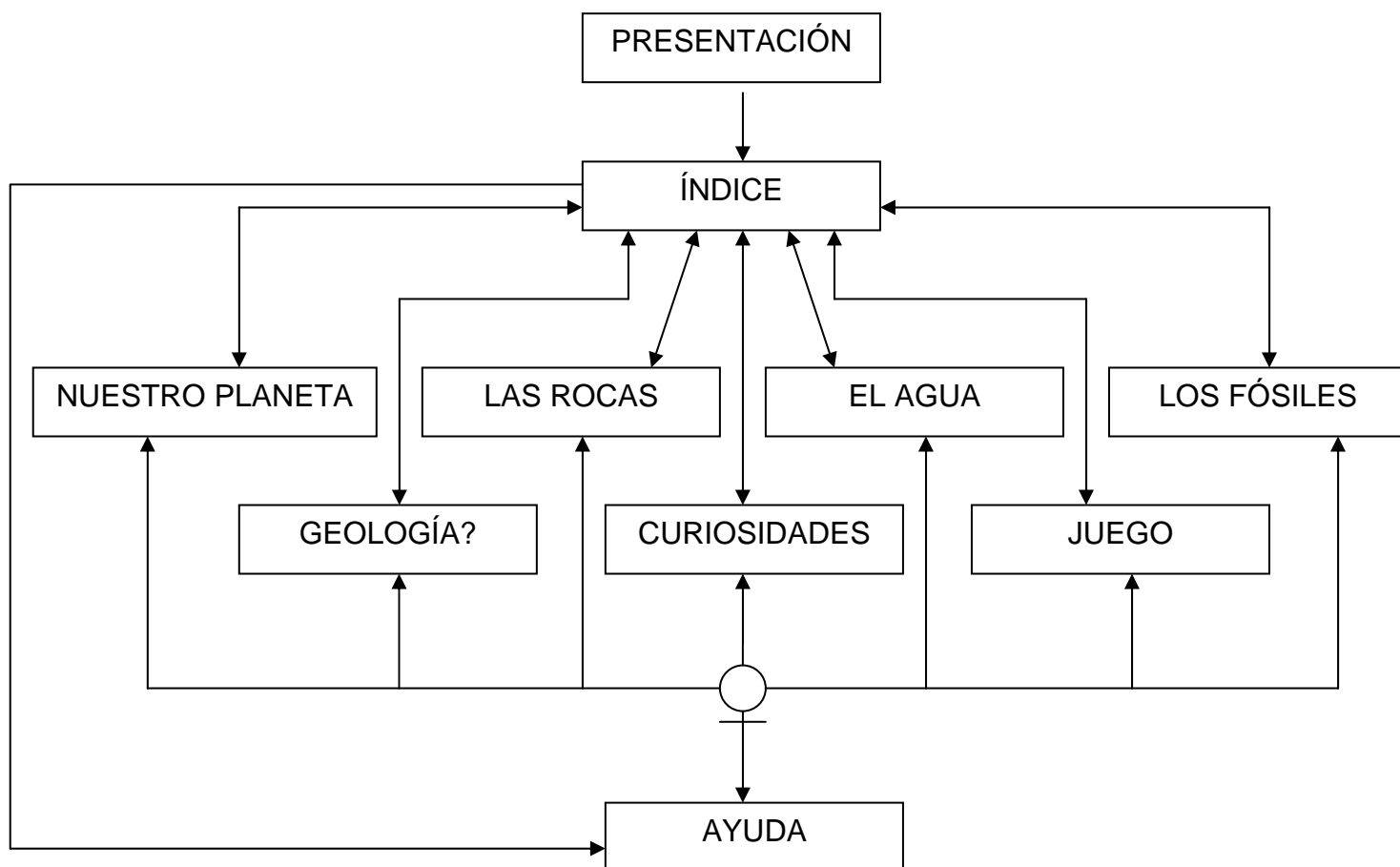
### Organización de contenidos (mapa conceptual):

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1. Nuestro Planeta   | 3. El Agua                         |
| 1.1 – Contexto de la Tierra (la Tierra en el Sistema Solar). | 3.1 – Hidrosfera.                  |
| 1.2 – Estructura y partes de la Tierra.                      | 3.2 – Cambios de estado.           |
| 1.3 – Edad de la Tierra (geocronología).                     | 3.3 – Ciclo hidrológico.           |
| 1.4 – Medio Ambiente   | 3.4 – Aguas superficiales.         |
| 1.4.1 – Principales problemas ambientales.                   | 3.5 – Aguas subterráneas.          |
| 1.4.2 – Qué hacer? (algunos consejos).                       |                                    |
| 2. Las Rocas   | 4. Los Fósiles                     |
| 2.1 – Concepto de roca, tipos de rocas y ciclo de las rocas. | 4.1 – La vida en la Tierra.        |
| 2.2 – Concepto de minerales y sus utilidades.                | 4.2 – Concepto de fósiles.         |
| 2.3 – Propiedades de los minerales                           | 4.3 – Los dinosaurios (extinción). |
| 2.3.1 – Forma.   |                                    |
| 2.3.2 – Brillo.  | 5. Geología?                       |
| 2.3.3 – Huella.  | 5.1 – Qué es la Geología?          |
| 2.3.4 – Peso específico.                                     | 5.2 – Quiénes la estudian?         |
| 2.3.5 – Sensación al tacto.                                  | 5.3 – Herramientas de un geólogo.  |
| 2.3.6 – Propiedades magnéticas.                              |                                    |
| 2.3.7 – Reacción a los ácidos.                               | 6. Curiosidades                    |
|  | 6.1 – Introducción.                |
|  | 6.2 – Terremotos.                  |
|  | 6.3 – Volcanes.                    |
|  | 6.4 – Glaciares.                   |
|  | 6.5 – Desiertos.                   |
|  | 7. Juego.                          |

El esquema numerado anterior presenta la disposición de los contenidos de la multimedia, cada numeración representa una pantalla, menos los temas generales; como *Nuestro Planeta*, *Las Rocas*, y demás.



### Mapa de navegación:



En el esquema anterior se muestra el mapa de navegación jerárquico de la multimedia, en el cual cada nodo representa una pantalla; las líneas, las relaciones entre éstas; la terminación en saeta indica que desde la pantalla 1 se puede acceder a la 2, ejemplo: de la pantalla **Presentación** se puede ir a la pantalla **Índice**, pero no viceversa y el círculo, la confluencia y afluencia de pantallas de un mismo nivel, lo que significa que se pueden acceder entre ellas. La línea perpendicular a una relación indica la neutralización de la relación, es decir, en este caso, de los temas (las pantallas de nivel 3 o abstractas, las que a su vez incluyen pantallas; denominadas subpantallas) se puede acceder a la **Ayuda**, pero no viceversa.





Fig. 1 Ejemplo de pantalla (tema Nuestro Planeta).

## Identificación

Duración: 30 – 40 min. (estimación del tiempo aproximado en que un destinatario tardaría en navegarlo completamente).

Fecha de producción: Febrero – Marzo 2005.

Elementos que forman el material: serie de 40 – 50 diapositivas, que incluyen audio, videos, imágenes fijas y en movimiento, texto, y demás.

## Análisis Didáctico

Destinatarios: El audiovisual está destinado a niños entre 9 y 11 años, que cursan estudios en la enseñanza primaria, fundamentalmente los grados cuarto, quinto y sexto; por ser en los que se imparte la asignatura de Ciencias Naturales, aunque no necesariamente debe estar en este rango de edad, puede lo mismo pasar a nivel de enseñanza secundaria (séptimo grado), que a niños menores de nueve años (tercer grado), como una introducción a la asignatura relacionada con el tema. Además, se destina, a los maestros o personas diversas que imparten temas relacionados, a los que el uso de la multimedia pone a su servicio estrategias didácticas que incrementen la motivación de los alumnos hacia el aprendizaje.

Contenidos y contextos de uso: La multimedia abarca la temática ambiental y específicamente la Geología como ciencia y como vida, según el interés formativo que se propone. El alcance, la profundidad y la amplitud del tema que se trata están determinados, así como el contenido adaptado, a los objetivos y



a la audiencia propuesta. La multimedia es, sin duda, una herramienta de apoyo a la educación escolar y de orientación vocacional; su contexto no está limitado a la enseñanza activa o al aula, sino también a círculos de interés, a la casa, e incluso puede ser la protagonista en el proceso de formación.

### Objetivos educativos:

- ✓ Apoyar el aprendizaje, como herramienta formativa, y la actuación del profesor en la clase de Ciencias Naturales.
- ✓ Introducir el tema de la Geología en edades tempranas, para un futuro desempeño en esta ciencia.
- ✓ Despertar el interés, como parte y soporte a la educación ambiental, de proteger el medio ambiente, en niños y jóvenes.
- ✓ Practicar o aprender habilidades informáticas o de manejo de la computadora.

### **Referencias**

(1) Barroso Jerez, C., 2003. Criterios pedagógicos en el uso de multimedia en educación: los agentes pedagógicos.

### **Materiales consultados**

- Sotolongo, M.C., 2003. El guión multimedia. GIGA (Cuba), 3: 54-55.
- Colectivo de autores, 1989. Ciencias Naturales 5to. Grado. Pueblo y Educación.
- Colectivo de autores, 1990. Ciencias Naturales 6to. Grado. Pueblo y Educación.
- Guía Metodológica. Ciencias Naturales 6to. Grado.
- Roselló Tormo, E., 1996. Crear en Multimedia. Servicios de publicaciones.
- Marques Graells, P., 2002. El guión multimedia: <http://dewey.uab.es>
- Valverde Berrocoso, J., 2001. Pautas para la realización de la guía didáctica: [http://www.unex.es/didactica/Tecnologia\\_Educativa](http://www.unex.es/didactica/Tecnologia_Educativa).
- Valverde Berrocoso, J., 2001. Diseño de medios y recursos educativos multimedia: [http://www.unex.es/didactica/Tecnologia\\_Educativa](http://www.unex.es/didactica/Tecnologia_Educativa)
- Valverde Berrocoso, J., 2001. El guión multimedia: [http://www.unex.es/didactica/Tecnologia\\_Educativa](http://www.unex.es/didactica/Tecnologia_Educativa)
- Anzulovich, G., 2001. Guión Multimedia: <http://tecno.unsl.edu.ar/multimedia/>
- Bou Bauzá, G., 1997. guión multimedia: <http://www.dialogica.com.ar/unr/postitulo/medialab/archives/>



# ESQUEMA DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES Y FUSION DE DATOS PARA EL MAPA 1:100.000 GENERALIZADO DEL TERRITORIO CIEGO-CAMAGÜEY-LAS TUNAS

**Carbeny Capote, Ariadna Suárez**

*Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana. E-mail: carbeny@igp.minbas.cu*

## RESUMEN

Los datos digitales disponibles son: Imágenes Thematic Mapper-5 (TM-5), Fotos Aéreas Pancromáticas, Modelo de Elevación Digital (MED) y Mapas Magnetométricos y Gravimétricos. Las características geomorfológicas, geológicas, antrópicas y climáticas del área de estudio son adversas a la interpretación y diferentes a las existentes para la creación de los esquemas de procesamiento y fusión mostrados en la literatura, procediendo entonces crearse un esquema propio.

Sobre la litología, el procesamiento de las TM produjo lo más informativo. En casi todos los casos, fueron las composiciones RGBI (*red, green, blue, intensity*) de principales componentes (PC) y los cocientes normalizados, aunque para el estudio de algunas secuencias sedimentarias carbonáticas, resultaron muy útiles composiciones RGBI y HSI (*hue-saturation-intensity*), completamente atípicas.

Por otro lado, para la mejor comprensión de la estructura interna del arco fue muy útil integrar el campo magnético y el drenaje natural a las RGBIs de PCs. Asimismo, gracias a diferentes fusiones de magnetometría, gravimetría, MED y composiciones TM, fueron detectadas por la primera vez, o trazadas con mucha mayor precisión, numerosas fallas.

## ABSTRACT

IMAGES PROCESSING AND DATA FUSION DATA ESCHEME FOR 1:100.000 GEOLOGICAL GENERALIZATION OF CIEGO-CAMAGÜEY-LAS TUNAS TERRITORY.

Available digital data: images of Landsat/5 Thematic Mapper (TM/5), Panchromatic Aerial Photos, Digital Elevation Model (DEM) and Geophysical (Magnetometric and Gravimetric) Maps. Geological, geomorphological, antropic and climatic characteristics of study territory are adverse to interpretation, and different from those existent for building of literature's formulas. Then, it was essential to create own formulas.

About lithology, from TM/5 processing were obtained more informative products. Usually, these were RGBI (*red, green, blue, intensity*) compositions of Principal Components (PC) and normalized ratios. But, in the case of several sedimentary carbonate sequences were really useful completely atypical RGBI and HSI (*hue, saturation, intensity*) compositions.

On the other hand, a better understanding of arc internal structure was obtained by means of fusion of magnetic and natural drainage data with PC RGBI compositions. In like manner, by means of different integrations of Magnetometry, Gravimetry, DEM and TM compositions, were founded by the first time, or more accurately traced, great many faults.

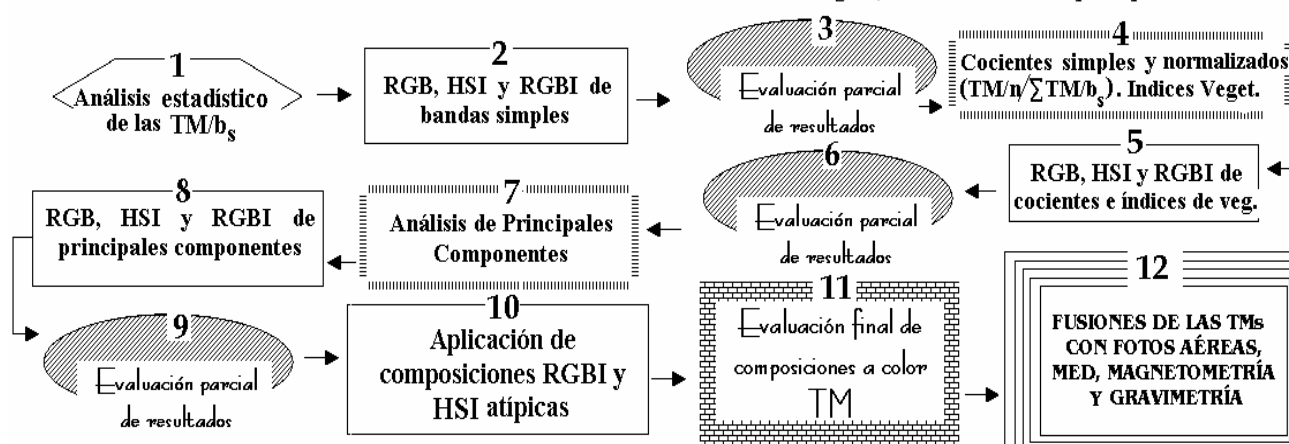
## INTRODUCCION

El territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas posee un bajo grado relativo de conocimiento y una alta complejidad geológica. La generalización a escala 1:100.000 de las diversas y no pocas veces contradictorias interpretaciones geológicas existentes en el territorio exige, entre otros recursos, del uso intenso de la interpretación de imágenes, geofísica y otras informaciones indirectas. Pero, el área adolece además de una mala interpretatividad, debido, esencialmente,



al predominio de baja aflorabilidad, potente capa de suelo (frecuentemente cultivada), y alto grado de aplanamiento del relieve; así como por la ocurrencia de parches de vegetación seminatural. El objetivo principal de cualquier procedimiento de procesamiento de imágenes y fusión es elevar la interpretatividad, ofreciendo la literatura una amplia gama de fórmulas y esquemas. Pero, unas y otros responden directamente a las características geomorfológicas, geológicas, de antropización y climáticas del área donde fueron creados. Características que son diferentes a las del territorio de estudio, lo cual obligó a construirse un esquema propio (**Ver Figura**).

ABREVIATURAS: PC1, PC2, etc.: *Principal componente 1, 2, etc.* TM-5: *Sensor Multispectral Thematic Mapper, (Landsat-5)*  
 RGB: *Composición Red, Green, Blue* TM/5: *Las 6 bandas de reflexión del TM-5*  
 RGBI: *Red, Green, Blue, Intensity* TM/4, TM/5, TM/n: *Una de las bandas de reflexión del TM-5*  
 HSI: *Hue, Saturation, Intensity* MED: *Modelo de elevación digital, en este caso del Mapa Top. 1:100.000*



**Figura.** Flujograma general del procesamiento de imágenes y fusión de datos aplicados para Ciego-Camagüey-Las Tunas, Proyecto 7949, 2003, IGP.

## MATERIALES Y METODO.

**Datos digitales disponibles:** 1- Imágenes Thematic Mapper/5, 2- Fotos Aéreas Pancromáticas, 3- Mapa gravimétrico, 4- Mapa magnético, 5- Modelo de elevación digital (MED).

**1- Imágenes TM/5:** Las escenas usadas son: la integrada 12/ 45-46 y la individual 13/45; adquiridas el 15 de agosto del año 1993 y 29 de enero de 1994, respectivamente, sobre la región limitada por las siguientes coordenadas Lambert Norte (Límite superior izquierdo: 706000, 287500 Límite inferior derecho: 950000, 75000). La Cuba 12 cubre, de costa a costa, el territorio comprendido entre Sibanicú, al oeste, y Puerto Padre, al este; mientras que Cuba 13 abarca, también de costa a costa, el extendido entre Jicotea, al oeste, y Sibanicú, al este. Ambas escenas presentan el mínimo de ruidos de registro y muy baja nubosidad (menor del 5%), lo cual permite catalogarlas como de excelente calidad.

El LANDSAT-5, operante desde abril de 1984, es parte de la segunda generación de este programa, iniciada con el lanzamiento del LANDSAT-4, y presenta profundos cambios con relación a los primeros satélites de la serie. Este satélite opera a una altitud nominal de 705,3



Km, en órbita heliosincrónica casi polar con inclinación de  $98^{\circ}22'$  cruzando el ecuador a partir del norte a cada 98,9 minutos, a las 9:37 h (hora local). La faja de registro presenta un ancho de 185 Km, siendo la repetitividad del muestreo de un mismo punto de la superficie del planeta de 16 días (EOSAT 1990). Es importante notar que las imágenes *LANDSAT* originales no son corregidas geométricamente, presentando el norte dislocado cerca de  $10^{\circ}$ , en el sentido horario, con relación al norte verdadero.

El sensor TM/5 es un imageador multiespectral, compuesto por siete bandas, acoplado al satélite *LANDSAT-5*. La resolución espectral y la nomenclatura de esas bandas son indicadas a continuación:

Banda TM-1: 0,45 a 0,52  $\mu\text{m}$  (azul/verde);  
Banda TM-2: 0,52 a 0,60  $\mu\text{m}$  (verde);  
Banda TM-3: 0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$  (rojo);  
Banda TM-4: 0,76 a 0,90  $\mu\text{m}$  (infrarrojo cercano);  
Banda TM-5: 1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$  (infrarrojo medio);  
Banda TM-7: 2,08 a 2,35  $\mu\text{m}$  (infrarrojo medio);  
Banda TM-6: 10,4 a 12,5  $\mu\text{m}$  (infrarrojo termal).

La resolución espacial de los canales TM es de 30 m en los de reflexión, y de 120 m en el termal.

**2- Fotos aéreas:** Fueron rasterizadas a 300 dpi fotos de los años 1970 (:37.000) y 1956 (1:60.000). La resolución espacial de las primeras es cercana a 1mx1m, mientras que en las segundas es aproximadamente 2mx2m.

**3- Mapa gravimétrico:** Corregido según An. B. En matriz 500 x 500, (Fuentes *et al.* 1999).

**4- Mapa magnético:** Campo total. En matriz 500 x 500, (Lufriú *et al.* 1994).

**5- Modelo de elevación digital (MED)** Hecho por el Grupo de Estudios Regionales del MINFAR (ER), a partir del mapa topográfico a escala 1:100.000.

### Procesamiento de imagen:

Para el procesamiento de las TM/5 se aplicaron los sistemas ILWIS, versión 3.1 y ER-Mapper, versión 6.1. El esquema creado y aplicado se puede ver en la **figura**. Paradella (1983) probó la eficacia de aplicar en zonas sub-tropicales brasileñas parcialmente cubiertas, el principio de acrecentar paulatinamente la complejidad del tratamiento en pos de aumentar el aprovechamiento de los atributos espectrales de la imagen; asimismo, mostró algunas de las ventajas de las composiciones RGB de Principales componentes en territorios con partes cubiertas por suelo. En este caso cubano, se intenta explotar al máximo no sólo la riqueza espectral de la imagen, sino también sus posibilidades texturales. Esto se realizó centrados fundamentalmente en el drenaje natural, elemento distintivo esencial en casi todos los paisajes presentes en el territorio de estudio.

Siguiendo lo establecido en la práctica internacional, el procesamiento de imagen TM abarcó sólo las seis bandas de reflexión, o sea, las 1, 2, 3 4, 5, y 7. Asumiéndose la desviación estándar como un indicador directo de la informatividad, resulta la más informativa la banda 5.





## Fusión de datos:

La transformada HSI fue la vía usada para fusionar los datos geofísicos, el MED y las TM. La fundamentación del uso del procedimiento se muestra en la literatura especializada (Drury 1993 y Crósta 1993, entre otras), mientras que las ventajas de estas y otras combinaciones en áreas cubiertas o algo cubiertas, ambas con relieve suave, se fundamentan muy bien por Amaral (1993 y 1994), Berger (1994) y Amaro (1998). La inclusión dentro de la HSI del sombreado del MED adiciona una aparente vista tridimensional del terreno, que permite realzar aún más el resultado de la integración de datos. Por otro lado, la fusión de imágenes satelitarias con aéreas, permite aumentar la resolución espacial, destacándose así más ciertos pequeños objetos. Además, puede mejorar los atributos temporales, o sea, ofrecer un paisaje menos antropizado allí donde la imagen satelitaria lo muestra así. En este sentido, las fotos del año 1956 resultan particularmente útiles (Capote 1999).

## RESULTADOS. DISCUSIÓN.

### Procesamiento digital de imágenes:

Para la selección del mejor trío teórico de bandas simples fue utilizado el OIF (*Optimal Index Factor*) (Chávez *et al.* 1982).

#### Aplicándose la fórmula:

$$OIF = \frac{dp(a) + dp(b) + dp(c)}{R(ab) + R(bc) + R(ac)}$$

Donde, a, b y c son tres bandas cualesquier, y R(ab) es el coeficiente de correlación de Pearson entre dos bandas.

Para la escena Cuba 12, los mejores tripletes son los 4-5-1 y 5-7-1, aunque visualmente se determinó que el mejor orden RGB es 1-5-4 y 1-5-7, respectivamente, siempre con ajuste manual de contraste. Asimismo, se estableció en la escena Cuba 13 que las mejores combinaciones RGB son 1-5-4 y 1-7-4. La creación en cualquiera de estas combinaciones de un RGBI, mediante la adición en el *layer intensity* de la banda 5 o la 7, acompañado siempre de un destaque con un filtro pasa alta (3x3 o 11x11) y un ajuste manual del contraste, permite realzar el drenaje natural, elemento textural imprescindible en la interpretación de casi todos los paisajes del territorio. En los siguientes procesamientos del esquema, se insistió en adicionar de la misma forma, el drenaje. O sea, en *intensity* una banda donde el drenaje se observa mejor, realzado con un passa alta.

Las RGBI de bandas simples no son particularmente eficaces para la interpretación litológicas de todas las unidades presentes. Es en el desglose de las ofiolitas donde resultan adecuadas. Por otro lado, mediante la transformada HSI (*hue, saturation, intensity*) del triplete 154 se pueden separar más claramente que en las RGBI las secuencias carbonatadas dentro de las cuencas superpuestas, particularmente en las zonas Najasa y Chambas-Ciego.

Por tanto, la elevación de la interpretatividad general de la litología requirió de técnicas más poderosas de relación de bandas que la composición de bandas simples. En este sentido, un recurso muy usado internacionalmente es la división entre bandas simples. Pero, esta técnica tiene probada eficiencia en áreas de buena aflorabilidad. Capote (1999) ensayó en el arco





cretácico del territorio de estudio algunas fórmulas aplicadas en otros escenarios geológicos y geográficos, buscando fundamentalmente la separación de alteraciones silicatadas, complementándolas con la banda 5 en *intensity*. Pero, el enmascaramiento dado por el suelo y la vegetación impidió obtener resultados realmente útiles. Una variante mucho más adecuada resulta ser el cociente normalizado, consistiendo en el resultado de la división de cada banda simple entre la suma de las seis. De esta forma, se aprovecha la capacidad informativa de cada banda, sin desechar el uso del albedo general. Convencionalmente, el número de la banda así obtenida viene dado por el de la banda simple dividida. En la escena Cuba 12 el triplete 1-2-3 presenta el mejor valor; sin embargo, el análisis visual permitió comprobar que el triplete 5-4-2 permitía un mejor realce de la información del sustrato. No obstante, en la escena Cuba 13 el triplete 3-4-7 resultó teórica y prácticamente el mejor. Mediante los cocientes normalizados mejores en los RGB, la aplicación en cada uno de un pasa baja, así como la inclusión de la banda 5 simple en *intensity* realizada con un pasa alta, se avanza realmente en el desglose de unidades complejas, tal como el arco volcánico, dentro del cual es posible separar, aunque sólo aproximadamente, formaciones lávicas de las piroclásticas.

Sin dudas, otra poderosa vía extractiva multibanda resulta ser el análisis de principales componentes. Consiste, en pocas palabras: a partir de un número dado de bandas de entrada, del procesamiento resulta una cantidad igual de bandas, pero cualitativamente muy diferentes (Crósta, 1993). La primera componente principal resultante (PC1) refleja casi toda la información correlacionable entre todas las bandas de entrada, mientras que en las subsiguientes se presenta, en orden creciente, aquella información menos correlacionada; consecuentemente, la mayor cantidad real de información es agrupada en las primeras principales componentes (Drury 1993, Crósta 1993). En el territorio de estudio, Capote probó su eficacia en la interpretación estructural del arco cretácico (1999) y en la separación de complejos y subcomplejos dentro de las ofiolitas (in Llánez *et al.* 2000). En ambos estudios, la obtención de composiciones RGBI donde el layer *intensity* está ocupado por la PC1, permitió incorporar a la interpretación, con gran claridad, el drenaje, el cual se refleja aquí mejor aún que en la banda simple 5. El análisis de componentes principales para las seis bandas de reflexión de las escenas Cuba 12 y Cuba 13 se basó en el cálculo de los autovectores (Crósta 1993).

En Cuba 12, la PC1 tiene aportes positivos de todas las bandas, confirmándose que resulta la media de todas las bandas, por lo cual su aspecto es muy cercano al de una pancromática. La PC4 se caracteriza por el contraste entre los valores negativos de las bandas 1,4,5 y 7 y los valores positivos de las 2 y 3 por lo que las diferencias espectrales de las formaciones caracterizadas por la variación de las bandas 5 y 7 pueden ser reflejadas por esta imagen. Mediante decisión visual se obtuvo que la composición RGB de las PCs 1, 2 y 4 muestra una gran cantidad de información del sustrato. La mayor cantidad de información es agrupada por las primeras componentes, en este caso la combinación de principales componentes 1-3-4 muestra aparentemente los mejores resultados.

Mientras, en Cuba 13 la PC1 presenta también aportes positivos de todas las bandas, aunque la banda 1 contribuye con un valor muy bajo. El contraste entre los valores positivos de los autovectores de las bandas 5-7 en la componente principal 3 y negativos de dichas bandas en la componente principal 4, así como el valor negativo de la banda 4 en la PC3 y positivo en la PC4 sugiere que la composición RGB más informativa es la 1-3-4, lo cual fue verificado mediante el análisis visual.

Los mejores tripletes de PCs complementados con la PC1 en *intensity* permiten mejorar la interpretación litológica en casi todas las unidades presentes, excepto en las secuencias del



Margen Continental. No obstante, los mejores resultados dentro del arco se obtienen mediante el examen secuenciado de las RGBI de PCs y las RGBI de cocientes normalizados.

En el caso del margen continental norteamericano, ninguno de los tratamientos anteriormente descritos aportó nuevos elementos para discernir dentro de la unidad las distintas formaciones litoestratigráficas carbonatadas que la integran. Todo esto debido a que la cobertura boscosa semi-natural impide como regla la observación de la superficie. El uso de la geobotánica mediante la experimentación en la vegetación seminatural de ese paisaje con distintas composiciones de cocientes entre bandas simples, así como con principales componentes y el índice normalizado de vegetación (NDVI), permitió encontrar que la HSI 5/4, PC-2 y NDVI posibilita realizar esta separación en algunos lugares. No obstante, al relacionarse la geobotánica y el relieve (Paradella & Bruce 1990), mediante la adición de la PC1 en *intensity* a una RGB de aquellas tres bandas complejas, se obtienen aún mejores resultados, pues los detalles del carso ayudan mucho al desglose litológico.

### Fusión de datos:

La composición HSI de la magnetometría, el MED y la banda Landsat 5 sirve para acentuar algunos elementos del fallamiento regional, así como para separar una parte de los complejos litológicos principales.

Para la mejor comprensión de la estructura interna del arco fue muy útil integrar el campo magnético y el drenaje natural (extraído de las fotos aéreas), a las RGBIs de PCs. Gracias a diferentes fusiones de magnetometría, gravimetría, MED y procesamientos TM, en los complejos rocosos de la Faja Plegada fueron detectadas por la primera vez, o trazadas con mucha mayor precisión, grandes fallas. Asimismo, la fusión de la transformada HSI del campo magnético y la PC1; y la integración de los alineamientos magnéticos (extraídos manualmente de los mapas 1:100.000)<sup>1</sup> a la HSI de las bandas TM 1,5,4 permitieron completar muy sensiblemente la cartografía del fallamiento de cuencas superpuestas y depresiones cenozoicas tardías.

### CONCLUSIONES.

Los autores esperan que el esquema presentado sirva de referencia para trabajos en geología, y paisajes semejantes, tanto en Cuba como en otros lugares del mundo.

Asimismo, sirva de ejemplo sobre la conveniencia de buscar caminos propios en el procesamiento y la fusión, allí donde los ejemplos de la literatura no sean adaptables a las condiciones concretas del área de estudio.

### BIBLIOGRAFÍA.

- Amaral, G., 1994. Aplicação do sensoriamento remoto nas pesquisas de recursos naturais; Tomo I. UNICAMP ed., Campinas, São Paulo. 375 p..  
Amaro, G., 1995. Métodos para a obtenção de informação estrutural em produtos de sensoriamento remoto.

<sup>1</sup> Esto se hace para aprovechar el mayor detalle de los mapas a escala 1:100.000, ploteados sobre red 500mx30-50m, ya que la matriz del registro digital magnético es 500mx500m.



- Amaro, V. E., 1998. Análise conjunta de dados geológicos, geofísicos e de Sensoriamento Remoto do setor extremo nordeste da província Borborema, nordeste do Brasil, com ênfase nas zonas de cisalhamento dúcteis neoproterozóicas.
- Berger, Z., 1994. **Satellite Hydrocarbon Exploration**. Springer-Verlag ed., Berlin Heidelberg. 373 p.
- Capote, C., 1999. Análise do controle estrutural metalogenético em Cuba Centro-Oriental, com base em dados integrados. Tese de doutoramento. Instituto de Geociencias. Universidad de Sao Paulo. Biblioteca del IGP. 220 p..
- Chávez Jr., P. S.; G. L. Berlin; L. B. Sowers, 1982. Statistical method for selecting Landsat-MSS ratios. **Journal of Applied Photographic Engineering**, 8, p. 23-30.
- Crósta, A. P., 1993. Processamiento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1 ed. Campinas, UNICAMP, São Paulo. 170 p.
- Drury, S. A. 1993. **Image interpretation in geology**. 2 ed. Chapman & Hall, London. 283p.
- Fuentes, M.; E. DOMÍNGUEZ; A. OVIEDO; J. J. MOYA; M. LEDESMA; 1999. Informe del TTP, Generalización de los datos gravimétricos de la región centro oriental y oriental de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología, C. de La Habana. Inédito. Archivo del IGP. 140 p..
- Lufriú, L; I. Padilla; L. Corbea; 1994. Mapa aeromagnético generalizado de Cuba, escala 1:250.000. Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, Cuba, (inédito). Archivo del IGP.
- Llanes, A.; M. Santa Cruz Pacheco; C. Capote; I. García; A. Morales; 2000. Petrología y Mineralización de la Asociación Ofiolítica en la Región de Camagüey, Inédito. Archivo del IGP.
- Paradella, W. 1983. *Discriminacao de unidades litológicas no baixo vale do Rio Curacá (Bahia), através de realces por processamento digital de dados MSS-Landsat* 3. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociencias, Universidad de Sao Paulo, (Inedito). 250 p..
- Paradella, W. R.; W. D. Bruce; 1990. Geobotânica por sensores remotos: uma revisão. *Rev. Brasil. de Geoc.* 19, (4): 425-435.



## ALGORITMO PARA DETERMINAR EL NIVEL DE FONDO DE ATRIBUTOS CON ESTRUCTURA DE DATOS SECUENCIALES LINEALES EN LA TECNOLOGIA REDOX

Manuel Pardo Echarte<sup>(1)</sup>, Osvaldo Rodríguez Morán<sup>(2)</sup>

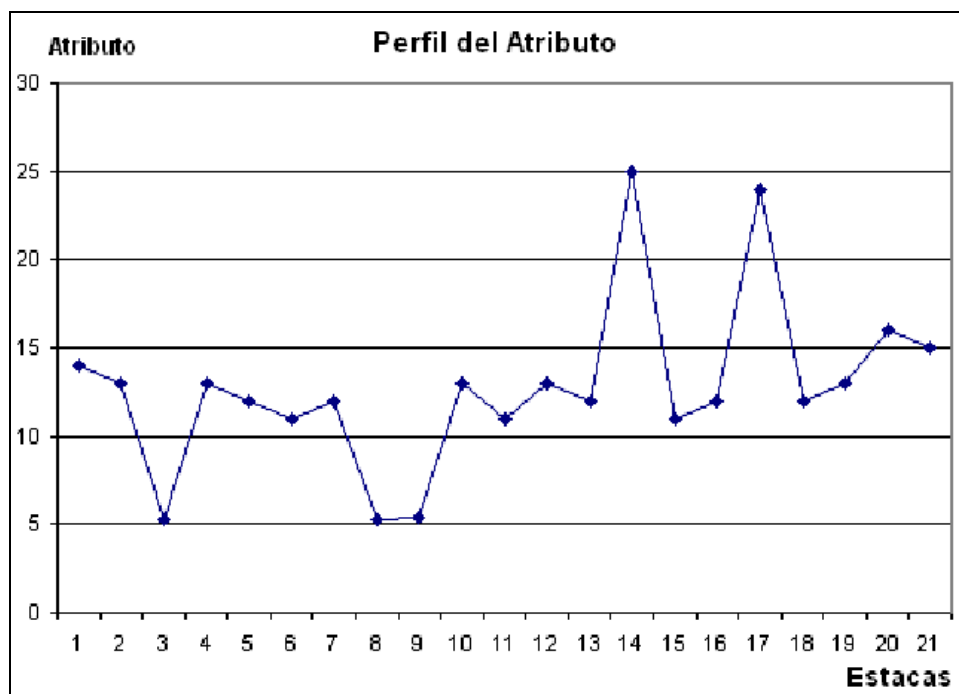
<sup>(1)</sup> Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca 1002 entre prolongación de Carretera Central y Línea de Ferrocarril, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba. C. Elect.: pardo@igp.minbas.cu

<sup>(2)</sup> Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington #169 esquina Churrucá, Cerro, Ciudad de La Habana. C. Elect.: ormoran@igp.minbas.cu

Determinar el Nivel de Fondo de un atributo en una serie de observaciones secuenciales es una tarea generalmente compleja cuya solución está dada, en buena medida, por una significativa carga subjetiva, la cual, en la mayoría de los casos, no es aplicada de forma homogénea. Esto hace que se traten de establecer reglas numéricas generales que modelen su determinación a partir de la experiencia del personal especializado (Expertos).

En este trabajo se exponen los pasos ordenados para la determinación del Nivel de Fondo de un atributo en observaciones secuenciales, basándose en el análisis heurístico del Criterio de Experto. Se exponen en detalle, la detección de elementos ráfagas dentro de la secuencia de valores, la determinación de la fracción necesaria del total de observaciones para el análisis y el proceso de depuración final del grupo de observaciones seleccionadas para lograr la obtención de un valor representativo del Nivel de Fondo.

Se presenta finalmente el Grado de Acierto que ofrece el algoritmo diseñado bajo estos preceptos con respecto a los resultados de los Niveles de Fondo determinados por el Experto.



Ejemplo de secuencia de observaciones de un atributo dado



## SISTEMA PARA LA EXPLORACION PETROLERA BASADO EN LA TECNOLOGIA REDOX

**Osvaldo Rodríguez<sup>(1)</sup>, Manuel Pardo<sup>(2)</sup>**

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No. 169 esq. a Churrucá, Cerro, CP 12 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: [ormoran@ceinpet.inf.cu](mailto:ormoran@ceinpet.inf.cu)

(2) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca No. 1002 entre prolongación de Carretera Central y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: [pardo@igp.minbas.cu](mailto:pardo@igp.minbas.cu)

### RESUMEN

Este trabajo se relaciona con la rama geológica y en particular, con las técnicas geofísico-geoquímicas no convencionales de prospección. Como parte de éstas, el Complejo Redox brinda información sobre las modificaciones del medio que tienen lugar en la parte superior del corte geológico, directamente sobre las ocurrencias metálicas y de hidrocarburos. Por esta razón resultan efectivos para su localización más exacta, lo que permite elevar la tasa de éxito de la perforación exploratoria. El empleo de dicho complejo se concibe como un complemento al complejo convencional de prospección, con fines de la reducción de áreas y/o de la selección de los objetivos más favorables para la comprobación geológica.

El Sistema Experto para la Exploración Petrolera basado en la Tecnología Redox proporciona el manejo de la información y la solución de los problemas de naturaleza heurística engendrados en la exploración geológicas con estas técnicas geoquímico-geofísicas no convencionales.

### ABSTRACT

This paper is related with the geologic branch and particularly, with the non-conventional geophysical and geochemical techniques of prospecting. As part of these, the Redox Complex offers information directly on the modifications which take place in the top part of the geologic slide, on the metallic occurrences and of hydrocarbons. For this reason they are effective for their more exact localization, what allows to elevate the rate of success of the exploratory perforation. The employment of this complex is conceived as a complement to the conventional complex of prospecting, with target of the reduction of areas and/or of the selection of the most favorable objectives for the geologic confirmation.

The Expert System for Oil Exploration based on Redox Technology provides the handling of the information and the solution of the problems of heuristic nature not engendered in the geologic exploration with those non-conventional geophysical and geochemical techniques of prospecting.

### INTRODUCCIÓN

La evolución histórico-práctica de la técnica de Potencial Redox en suelos (usada en combinación con la Kappametría a los fines de la exploración de hidrocarburos y minerales metálicos) desde su innovación e introducción en 1992 hasta el año 2000, exigía de un nuevo estadio teórico-experimental dirigido a desarrollar el basamento teórico del método e implementar su interpretación cuantitativa (profundidad, geometría, naturaleza y calidad de las fuentes). Para eso, se hacía necesario además el análisis, diseño, puesta a punto e implementación de un Sistema Experto que modele heurísticamente el proceso de interpretación del Complejo Redox.

El empleo de dicho complejo se concibe como un complemento al complejo convencional de prospección, con fines de la reducción de áreas y/o de la selección de los objetivos más favorables para la comprobación geológica.



La Tecnología del Complejo Redox considera dos etapas de ejecución: de reducción de áreas y de verificación terrestre:

- La primera, conocida como detección a distancia, consiste en la observación de escenarios especialmente preparados a partir del procesamiento de la información del Levantamiento Aerogeofísico (LAGE) y de las Imágenes Satelitales, en los cuales se determinan los sectores anómalos más prometedores.
- La segunda etapa, se establece por la necesidad de verificar y detallar cartográficamente en tierra aquellos sectores anómalos de interés seleccionados, realizando in situ, las mediciones de los atributos que puedan acusar la presencia de objetos de composición metálica en el subsuelo.

El Sistema Experto Redox modelará el manejo de la información y la solución de los problemas de naturaleza heurística devenidos en el proceso de prospección con estas técnicas. El punto de partida es una Base de Datos Inteligente, en la que se desarrollan módulos de interpretación heurística y graficado que resuelven necesidades del interpretador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Cualquier proceso de desarrollo pretende producir, probablemente después de varias iteraciones, la implementación de un sistema. Esto es un programa o conjunto de programas que funcionan en un entorno apropiado para cumplir las necesidades de los usuarios, incluyendo necesidades implícitas, tales como el mantenimiento. El diseño y (especialmente) la arquitectura del sistema incorpora las decisiones importantes de cómo construir el sistema abstrayéndose de muchos detalles. Un lenguaje para describir un diseño, debería naturalmente, estar basado en diagramas, ya que la experiencia sugiere que así es como se piensa de forma natural, sobre los sistemas. Es imposible concebir que un único diagrama pueda describir todo nuestro diseño, y está claro que no debería ser deseable, ya que en cada momento interesa diferentes momentos del diseño. Se construirán pues diferentes modelos del diseño reflejándose diferentes aspectos de este. Por eso aplicaremos los diagrama UML (Lenguaje Unificado de Modelado) para la descripción de los procesos heurísticos y la estructura general de la Base de Datos implementada para el Sistema Redox. El UML es una herramienta que cumple con esta función, ya que le ayuda a capturar la idea de un sistema para comunicarla posteriormente a quien está involucrado en su proceso de desarrollo; esto se lleva a cabo mediante un conjunto de símbolos y diagramas. Cada diagrama tiene fines distintos dentro del proceso de desarrollo. El UML esta compuesto por diversos elementos gráficos que se combinan para conformar diagramas. Debido a que el UML es un lenguaje, cuenta a con reglas para combinar tales elementos. Describiremos el Sistema Redox partiendo de su comportamiento Estático y Dinámico con los diagramas UML principales.

## RESULTADOS

La parte más difícil de cualquier proyecto de diseño es comprender la tarea que se está tratando. Esto se acentúa más cuando el proyecto representa un Sistema Experto. Para que un sistema sea de alta calidad, tiene que cumplir las necesidades de los usuarios.

Producto de las sucesivas entrevistas e intercambio con el Experto, es que se diseñaron los diagramas UML, entre ellos están los siguientes:

- Diagrama de Caso de Uso.
- Diagrama de Paquetes
- Diagrama de Clases
- Diagrama de Secuencias
- Diagrama de Actividades
- Diagrama de Estados





## DISCUSION

En el Diagrama de Caso de Uso se describió las posibles acciones de los probables usuarios que interaccionarán con el Sistema, estos son: el Experto, el no Experto y el Administrador. En la Figura 1 se expone a modo de ejemplo, uno de los Diagramas de Caso de Uso para el caso del Experto como actor.

En la Figura 2 se muestra el Diagrama de Paquetes que relaciona los grandes grupos de datos que estarán vinculados entre sí. Este diagrama no por muy general deja de ser importante en el proceso de comprensión del Sistema.

En el Diagrama de Clases se determinó los términos más importantes y sus asociaciones en el Sistema. Este estudio da cobertura para estructurar la Base de Datos.

En el Diagrama de Interacción se establece las interacciones principales que los objetos esenciales tendrán en el Sistema, asociados estos a cada una de las interfases que se estructurarán. En la Figura 3 se muestra un Diagrama de Clases para el nivel jerárquico de Proyecto.

Los diagramas de Secuencias están vinculados estrechamente con las futuras interfases que se diseñarán en el Sistema y son las que facilitarán las comunicaciones entre los usuarios y el Sistema. Proporciona un ordenamiento metodológico del asunto que trata a lo largo del tiempo. Un ejemplo está en la Figura 4. En este caso se trata del proceso de adquisición de datos principales.

En el Diagrama de Actividades se describen los procesos algorítmicos fundamentales que dan solución heurística a los problemas tratados por la experiencia del Experto. En la Figura 5 se muestra el Diagrama de Actividades para el caso de la estimación del valor de fondo de las observaciones de los atributos a lo largo de la Línea o Perfil para proceder posteriormente a su Normalización o Reducción. Este proceso de determinación del valor de fondo es esencial para todo el posterior cálculo de interpretación.

En la Figura 6 mostramos uno de los Diagramas de Estado concebidos para el Sistema. Este es el Diagrama de Estado del Menú del Sistema, el cual describe como están ordenados los elementos de acceso a cada uno de los módulos del Sistema. Este diseño tiene que ser muy amigable para el usuario, pues en general, en esta especialidad de aplicación, tanto los Expertos como los no Expertos no poseer una experiencia importante en los ambientes de cómputo, por lo que debe de ser este menú un elemento que refleje esencialmente un orden metodológico del proceso general del Sistema Experto.

Existen más diagramas UML para explicar este Sistema Experto, pero solo hemos expuesto lo que consideramos, principales.

Este Sistema se diseñó enteramente en un ambiente de Microsoft Access 2000. En la Figura 7 se muestra el ambiente inicial del Sistema con el control de usuario a la entrada. En la Figura 8 aparece la interfase de adquisición de datos (Metadatos), pues la información esencial de los atributos observados en el campo se introducen en la interfase mostrada en la Figura 9. En esta interfase de captación de datos aparecen elementos de aplicaciones para la elaboración inicial de cada uno de los atributos del Complejo Redox. En la Figura 10 se muestra el ambiente de la interfase de interpretación que llega hasta la construcción de los cuerpos interpretados a partir de los atributos y como elemento gráfico, la interfase de graficado en la Figura 11. En esta interfase pueden distribuirse con gran holgura los gráficos de los atributos en los perfiles de forma vertical, facilitando así el análisis visual del Experto frente al resultado de la interpretación y en la Figura 12, aparece un ejemplo de gráfico junto al resultado de la interpretación en un objeto Excel.

## CONCLUSIONES

- Se pudo captar todo el proceso de interpretación dado por la experiencia de los especialistas más conocedores de esta especialidad.



- ❑ Todo el Sistema fue concebido a la luz de las nuevas técnicas de los Diagramas del Lenguaje Unificado de Modelado (UML).
- ❑ Se llevó a cabo el diseño del Sistema Experto y se implementó todo el proceso de interpretación.
- ❑ Desde hace más de un año se utiliza este Sistema en la detección de las ocurrencias metálicas y de hidrocarburos, el cual ha asimilado las naturales adecuaciones.

## BIBLIOGRAFIA

1. Pardo, M.E., 1991: **Tópicos metodológicos en las investigaciones geólogo-geofísicas aplicadas a la evaluación de recursos**. Notas de Clase del Curso, 70 p.
2. Pardo, M., Stout, R., Aragón, R., Peláez, E.; **Informe sobre El T.T.P. Aplicación de la medición In Situ del Potencial Redox en suelos sobre objetivos de Prospección de Minerales Metálicos e Hidrocarburos**, Informe Instituto de Geología y Paleontología. Unión Minera. Ciudad de La Habana, Junio, 2000.
3. Quantany, Terry.: **Visual Modeling with Rational Rose 2000 and UML**. ISBN: 0-201-69961-3, 2000.
4. Ruiz Shulcloper, J.: **Modelos Matemáticos para el Reconocimiento de Patrones**. Folleto de la Universidad Central de las Villas, Facultad de Matemática, Física y Computación. 1990.
5. Rumbaugh, J., Jacobson, I., Booch, G. **The Unified Modeling Language Reference Manual**. Published 1999 by Addison-Wesley, ISBN 0-201-30998-X., January 22, 1999
6. Samper J.; **SISTEMAS EXPERTOS. DEL CONOCIMIENTO AL PODER**. Universidad de Granada. [www.psycologia.com/articulos/ar-jsamper01.htm](http://www.psycologia.com/articulos/ar-jsamper01.htm).
7. Schmuller, J.: **Aprendiendo UML en 24 horas**. ISBN: 0-672-31636-6. México 2000.
8. Stevens, P., Pooley, R.: **Utilización de UML en ingeniería del software con objetos y componentes. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos e Ingeniería de Software**. Facultad de Informática. Universidad Pointificia de Salamanca, Campus Madrid. ISBN: 84-7829-054-0. 2002.
9. Valdés, J.; de la Cruz; A., Jocik E.; Balsa J.; Rodríguez A.; **ARIES Ingeniería del Conocimiento en el Medio Ambiente v1.01**. Editorial Academia 1993.

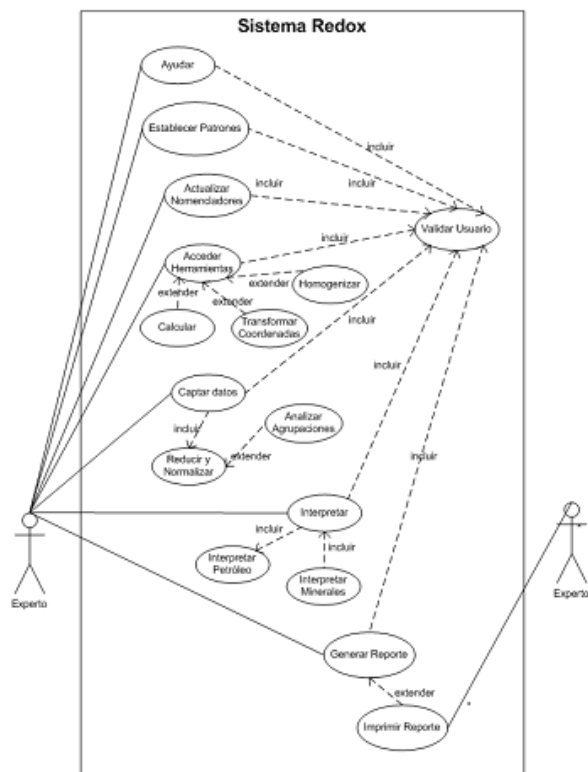


Figura 1. Diagrama de Caso de Uso



Figura 2. Diagrama de Paquetes

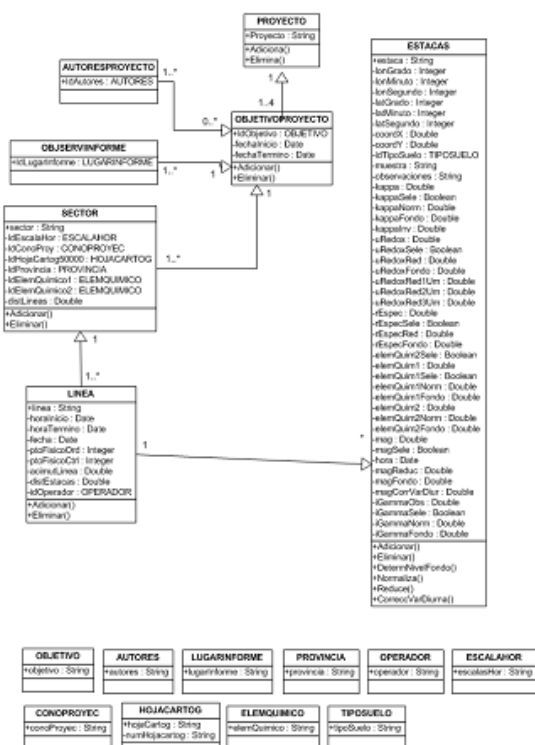
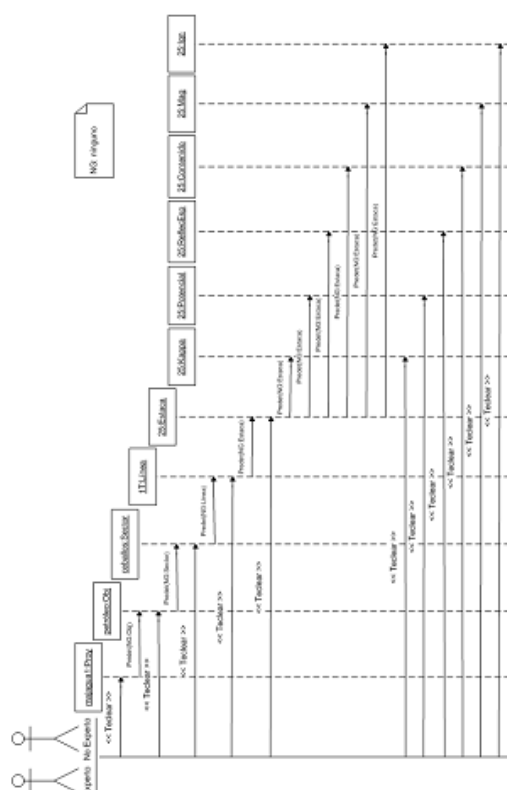


Figura 3. Diagrama de Clases



#### Figura 4. Diagrama de Secuencias



Figura 5. Diagrama de Actividades



Figura 6. Diagrama de Estados



Figura 7. Interfase de apertura del Sistema presentando la entrada por usuarios

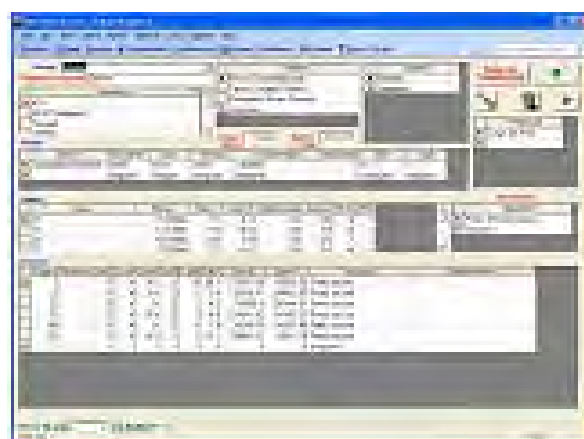


Figura 8. Interfase de adquisición de información de metadatos del Sistema para la Base de Datos

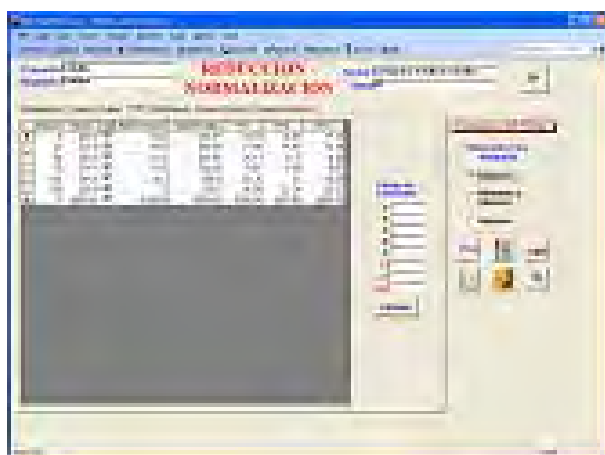


Figura 9. Interfase para la adquisición de la información de los atributos observados del

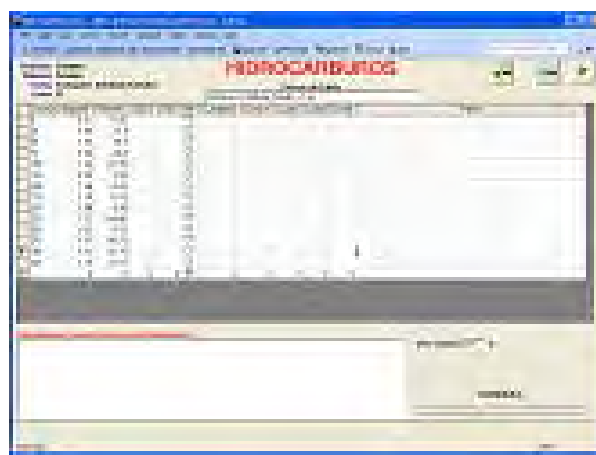


Figura 10. Interfase para el procesamiento de la interpretación de los Perfiles o Líneas.



## Complejo Redox.

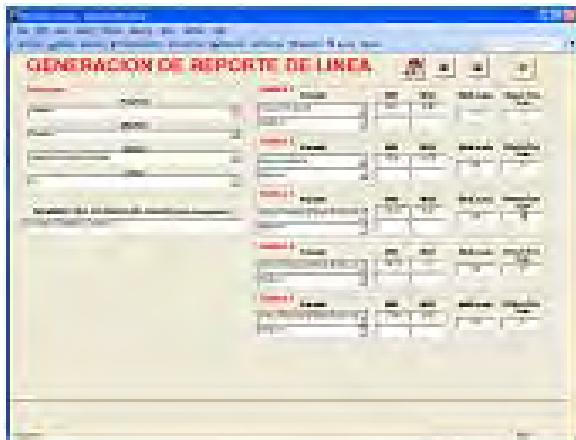


Figura 11. Interfase para la generación de gráficos de los atributos para la interpretación.

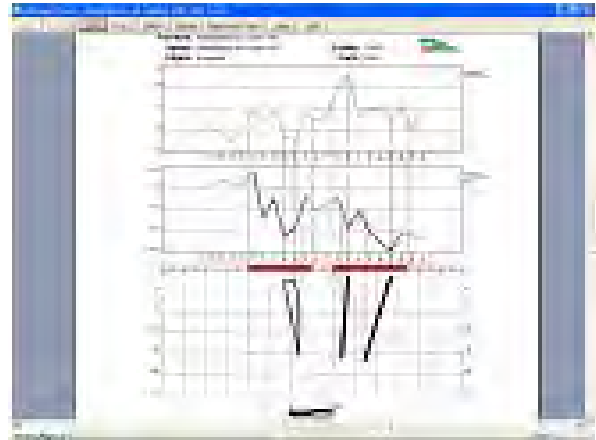


Figura 12. Ejemplo de los gráficos de Perfiles de atributos y su interpretación generados por el Sistema en un fichero Excel.





## USO DE LAS HERRAMIENTAS SIG EN LA INTERPRETACION COMPLEJA DE LA INFORMACION GEOLOGO - GEOFISICA

**MCs. Higinio Pimentel Olivera<sup>(1)</sup>, Ing. Jorge Pérez Acosta<sup>(1)</sup>, Ing. Victoria González Pacheco<sup>(1)</sup>, Ing. Enrique Piñero Pérez<sup>(1)</sup>.**

(1) Empresa Geominera Camagüey. Carretera Central Este, Km. 5<sup>1/2</sup>, Camagüey, Cuba.  
Telf: 271328, 271202. C. Elect. [higiniopo@geomineracmg.co.cu](mailto:higiniopo@geomineracmg.co.cu), [jorgepa@geomineracmg.co.cu](mailto:jorgepa@geomineracmg.co.cu).

### RESUMEN

El uso y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica se ha ido generalizando, especialmente en las diferentes ramas de las geociencias. En este trabajo se expone el uso de algunas herramientas de los SIG para el tratamiento e interpretación integrada de la información geólogo-geofísica en el territorio Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas.

El Vertical Mapper permite la importación directa de los archivos con extensión grd, en este caso de los campos aeromagnético y gravimétrico. El mapa geológico regional se obtuvo por digitalización, en el propio SIG, de una imagen escaneada del mapa 1:250000 actualizado, mientras que la información topográfica y topológica se incorporó a partir de ficheros digitales de diferentes fuentes.

Loa CIG brindan un ambiente muy favorable que permite la interacción y superposición digital de los diferentes mapas, lo cual optimiza la eficacia y la eficiencia del interpretador. Facilita además la integración dinámica de los resultados de la interpretación al Sistema de Información Geográfica, con todas las ventajas que ello implica.

Para la interpretación de los campos geofísicos resultan especialmente útiles las herramientas del Vertical Mapper, que permiten el manejo y procesamiento de imágenes en ficheros rasterizados. El trabajo con los mapas de sombras en distintas variantes permitió trazar lineamientos y rasgos estructurales que no habían sido identificados hasta ahora; por ejemplo resulta interesante la consistencia de los patrones circulares del campo magnético al este de la falla Camagüey y el aparente efecto de par basculante entre la falla La Trocha y las fallas de dirección NE Algarrobo y Camagüey Oeste.

### ABSTRACT

An approximation to the use of some GIS tools for integrated interpretation of available geological-geophysical-geographical information is given in this paper, specifically concerning to structural interpretation of Ciego de Avila-Camagüey-Las Tunas territory.

Digital and graphic information available at Geominera Camagüey archive have been used. Geosoft .grd files created at Geominera Camagüey in 1998 for airborne magnetic and gravimetric fields were imported directly in Vertical Mapper, whilst regional geological map was digitized from a scanned image, using GIS digitizing tools. Geographic information was acquired from different sources.

Vertical Mapper tools as shadows maps and drawing tools were used for geophysical and TDM interpretation. GIS comfortable environment allows multiple maps analysis, which makes interpreter job easier and faster.

As a result, some new ideas concerning tectonic and geological features of the territory are given, as well as a revision of some criteria for selection of gold mineralization favourable areas.



## INTRODUCCIÓN

Los SIG nacidos en Canadá en la década del 60, cuyo objetivo fundamental es almacenar, organizar y utilizar información espacial georeferenciada, han alcanzado en los últimos años un alto grado de aplicación en las diferentes ramas de las geociencias, motivado por: Existencia de paquetes de programas que permiten la manipulación de datos a un costo moderado y con relativa facilidad, cada día se hace más asequible el equipamiento de computo, la facilidad que brinda el sistema al proceso de la toma de decisiones en complejos proyectos estratégicos para el manejo de los recursos en fases de planeación, ejecución y monitoreo, por la acumulación de valiosa información como resultado de toda la investigación geológica, gran parte de la cual está agrupada y codificada en Bases de Datos, la existencia de valiosa información topográfica, tanto en formato raster como vectorial, la cual se puede obtener desde Internet de forma gratuita. Es por ello que decidimos hacer una valoración de la información topográfica, magnética, gravimétrica y geológica con una posterior interpretación de la misma empleando las bondades de estos sistemas. El territorio que abarca este estudio se muestra en la Figura 1.

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental demostrar la capacidad de análisis y tratamiento de información del SIG en los trabajos para investigaciones geológicas hasta llegar a los Mapas Resultantes a partir de mapas temáticos y sus bases de datos.

En este contexto, la aplicación de esta nueva tecnología nos permite con escasos recursos financieros y humanos, alcanzar resultados realmente novedosos, precisos y de alta calidad, realizando una manipulación de información ya existente.

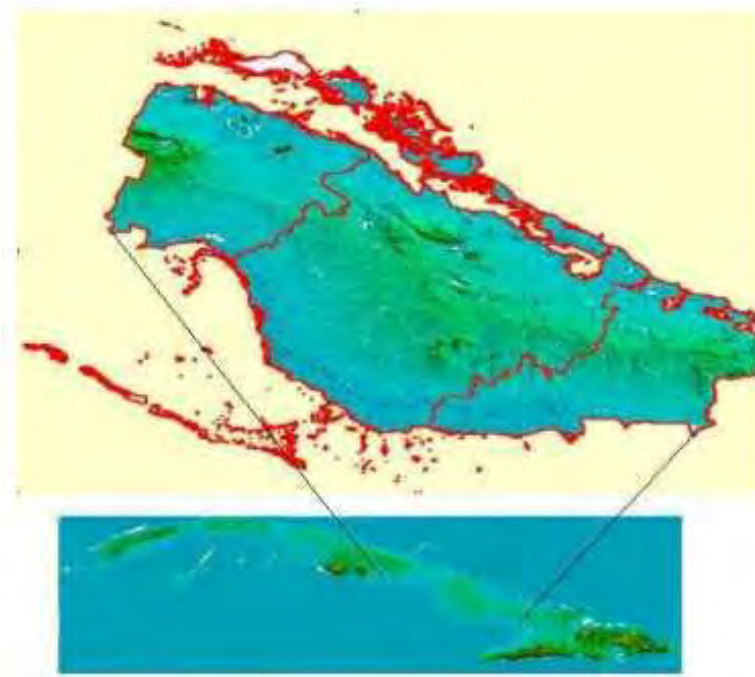


Figura 1. Ubicación del Área de Estudio



## MATERIALES Y MÉTODOS

En el desempeño del presente trabajo se utilizaron una serie de herramientas que facilitan el proceso de representación e integración de toda la información disponible.

Nos auxiliamos del conjunto de herramientas matemáticas que brindan los SIG para el procesamiento de información cuyo atributo principal es su posición en el espacio x, y, z, con lo cual hacemos un análisis del modelo digital del terreno, de los campos aeromagnético y gravimétrico, así como del mapa geológico 1:250 000 del territorio Ciego de Avila – Camagüey – Las Tunas, para obtener como resultado de esta integración una interpretación compleja en la cual se reflejan estructuras y lineamientos, muchas de las cuales están relacionadas directa o indirectamente con los campos minerales de este territorio y otras son muy perspectivas para la localización de diferentes materias primas minerales.

Para el diseño de la investigación fueron establecidas una serie de etapas y subetapas de forma lógica y secuencial durante las cuales se desarrollaron las siguientes tareas:

- Planteamiento de los objetivos.
- Adquisición de datos.
- Preparación de los datos.
- Administración y manejo de los datos.
- Manipulación y análisis.
- Generación del producto.

El planteamiento de los objetivos del trabajo es una etapa fundamental en las investigaciones (Primelles J. y G. Artiles, 2004), en este caso fueron determinados los siguientes:

- Acometer el empleo de un SIG para el procesamiento de parte de la información topográfica, geológica y geofísica existente del territorio Ciego de Avila – Camagüey – Las Tunas.
- Interrelacionar toda esta información y resaltar de ella los aspectos más influyentes en la configuración geológica del territorio, obteniendo a partir de éstos, nuevos mapas resultantes.
- Realizar un análisis más detallado, apoyado en la relación espacial entre los principales yacimientos y manifestaciones y el mapa resultante de la interpretación.

El proceso de adquisición de los datos es una de las etapas más importantes, ya que de ello dependerá en gran medida la calidad de los resultados finales y es la etapa en la cual se emplea el mayor tiempo. En nuestro caso tuvimos la ventaja de que gran parte de la información ya se encontraba en formato digital, lo cual hizo menos engorroso el trabajo, excepto para el caso de la información geológica.

Los datos topográficos se obtuvieron en formato digital desde Internet y fueron validados con información existente de levantamientos para sectores pequeños realizados por nuestra Empresa, comprobándose la calidad de los mismos, posteriormente fueron importados desde el CIG. La información Gravimétrica es el resultado de los levantamientos a escala 1:50 000 realizados por la Empresa Geominera Camagüey en este territorio, estos fueron importados en formato grd; los datos magnéticos son el resultado de los levantamientos aeromagnéticos realizados en la década de los 80 por la brigada aerogeofísica soviético-cubana y se obtuvieron también en formato grd. Por su parte la información geológica se tomó a partir de la digitalización del mapa geológico a escala 1:250 000 (E. Piñero y otros, 2004), este fue



digitalizado directamente en el SIG. Toda esta información fue ubicada por niveles. El término nivel de información hace referencia a cada una de las capas temáticas que, desglosadas, se introducen en el sistema. Se consideran niveles de información en este trabajo la geología (litología, contactos, etc.), dentro de esta, a cada formación geológica se le dio un nivel; los datos aeromagnéticos, los datos gravimétricos, la ubicación de los yacimientos y manifestaciones minerales, así como una información complementaria referida a la planimetría (división político-administrativa, vías de comunicación, ríos y presas). Estos niveles constituyen la información primaria para introducir en el sistema. A partir de ellos se obtienen los diferentes mapas resultantes, que no dejan de ser, en cierto modo, nuevos niveles.

Hasta el momento sólo se ha trabajado en la interpretación cualitativa de la información, pero los SIG presentan también herramientas para el análisis cuantitativo de determinadas variables que puede ser incorporado también a los resultados del proceso.

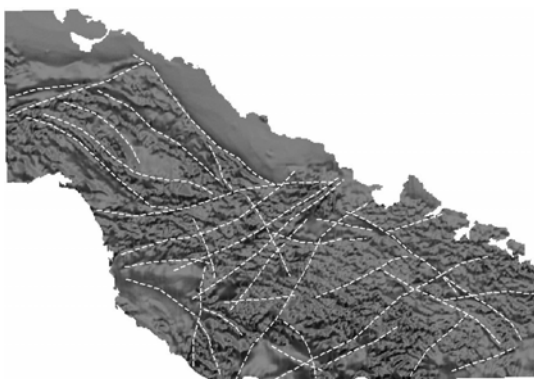


Figura 2. Algunos lineamientos importantes interpretados por el campo aeromagnético.

## RESULTADOS

En el ejemplo que nos ocupa se presenta un esquema tectónico del territorio Ciego-Camaguey-Las Tunas, con las estructuras y lineamientos más importantes interpretados a partir de los campos aeromagnético y gravimétrico, con el apoyo de la información geológica y el MDT. Los resultados de la interpretación se guardaron en un Workspace que contiene en diferentes capas toda la información que se utilizó; esto le da la facilidad al usuario de la misma de analizar y revisar los resultados de forma interactiva y creativa, de acuerdo con sus propios intereses y posibilidades.

Las facilidades del manejo de imágenes nos permitió analizar múltiples variantes al trazar los lineamientos, utilizando diferentes ángulos para la iluminación de los mapas de sombras, así como diferentes niveles de acercamiento (ZUM) para identificar primero las estructuras regionales de primer orden y después las de carácter más local. En el mapa de resultados aparecen las más consistentes a partir de la superposición de todas las variantes analizadas, aunque está claro que éste es sólo una propuesta producto de nuestra interpretación personal.

La comparación de las estructuras interpretadas con el mapa geológico y la distribución de sus diferentes formaciones nos permitió en algunos casos hacer correcciones y precisiones que mejoran la interpretación. Al mapa se integraron las ocurrencias minerales de oro más importantes conocidas en el territorio, confirmándose en la mayoría de los casos un evidente control estructural sobre dicha mineralización (Figura 3).

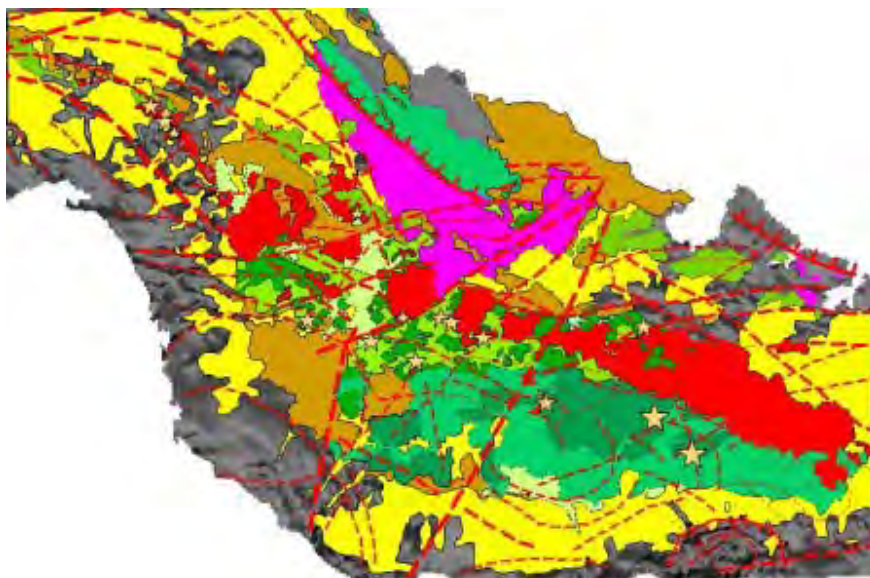


Figura 3. Interpretación compleja de los datos geológicos y geofísicos.

## DISCUSIÓN

La interpretación geólogo-estructural de este mismo territorio ya había sido realizada anteriormente con la participación de los autores (Pérez E., H. Pimentel, R. Lugo y otros, 1999), mediante el empleo de una base gráfica dura procesada en Geosoft montado sobre DOS. La interpretación utilizando un SIG como soporte, optimiza el trabajo de interpretación al permitir el manejo de una base cartográfica múltiple y el procesamiento en tiempo real de las imágenes rasterizadas. La creación de un Workspace contentivo de todos los mapas utilizados en el proceso interpretativo y del propio resultado, le da la posibilidad al usuario de revisar y adaptar la interpretación a sus propios conceptos y necesidades, tomando el resultado sólo como una propuesta del interpretador.

Otra de las ventajas es la posibilidad de contar con la interpretación a varias escalas, desde la escala regional hasta la más detallada; basta con incorporar al Workspace la información de levantamientos detallados en aquellas áreas donde estos existen. La visualización a distintas escalas se logra con la utilización de diferentes niveles de zoom por capas.

Algunas de las estructuras o lineamientos principales se mantienen como en la interpretación anterior, como el caso de las fallas La Trocha y Camagüey, aunque en el caso de esta última hay un cambio en su dirección, en el extremo sur de la misma. Un aspecto novedoso con respecto a la interpretación anterior es la identificación de un sistema de lineamientos con dirección  $340^{\circ}$ - $350^{\circ}$ , coincidente con la dirección de las vetas de cuarzo con oro del yacimiento Jacinto, al noreste de Camagüey. Una estructura con esta dirección parece enlazar las zonas de Jacinto, Guáimaro y Golden Hill, tres zonas auríferas importantes, lo cual nos hace pensar que habrá que prestarle atención en un futuro a este sistema como posible controlador de la mineralización de oro en este territorio.

Aunque ya con anterioridad han sido identificadas varias estructuras circulares de posible origen vulcano-tectónico, sobre todo al sureste de Guáimaro y al sur de Camagüey, nos llama la atención la consistencia de un patrón circular o semicircular en estructuras de gran tamaño.





Estas son apreciables sobre todo al este de la Falla Camagüey. Al oeste de la dicha falla se observa un rasgo característico de los lineamientos del campo aeromagnético y es la aparente flexión hacia el sur en los límites de la falla La Trocha y hacia el norte en la parte de las fallas Algarrobo y Camagüey, dando la impresión de un efecto de par basculante entre las mencionadas estructuras, debido probablemente a un desplazamiento rotacional del bloque Ciego de Ávila durante el avance de la Unidad Oceánica sobre el Margen Continental Norteamericano.

## CONCLUSIONES

- La utilización de un SIG como soporte para la interpretación de la información geólogo-geofísica permite una acción interactiva con diferentes niveles de información, lo que facilita el manejo y análisis de la información y permite la confección de mapas temáticos adecuados a los objetivos específicos que se planteen.
- Comparada con la interpretación anterior del mismo territorio, la presente aporta nuevos elementos, los cuales resultan difíciles de ver con los métodos tradicionales.

## BIBLIOGRAFÍA

Pérez, E., H. Pimentel, M. Pardo, R. Lugo, y otros, 1998. Informe sobre la interpretación geólogo-estructural de los datos geofísicos en la región Ciego de Ávila – Camagüey – Las Tunas, ONRM: Inédito

Piñero E., 2004. Generalización del Mapa Geológico del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas, Empresa Geominera Camagüey: inédito.

Primelles J. y G. Artiles, 2004. Conferencias sobre Sistemas de Información Geográfica, Delegación Territorial CITMA Camagüey: inédito.





## **OBTENCIÓN DEL MAPA DE EROSION DE SUELOS A ESCALA 1:250 000 EN EL AMBIENTE DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Marina B. Vega Carreño

*Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127, Cujae, Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba CP 19390, C Elect: marina\_vega1311@yahoo.com*

La erosión está considerada como el principal proceso que contribuye a la degradación del recurso suelo. Es por ello que el hombre ha dedicado considerables esfuerzos en desarrollar métodos para su evaluación, como paso inicial que lleva posteriormente a poner en práctica medidas dirigidas a la mitigación de sus efectos. Los métodos evaluativos desarrollados hasta el presente, pueden agruparse en directos e indirectos encontrándose entre estos últimos aquellos que se basan en el estudio de uno o mas factores que controlan la erosión. Teniendo en cuenta que la erosión hídrica está estrechamente relacionada con factores tales como la lluvia y la escorrentía, que se produce como consecuencia; con el relieve, y con las propiedades del suelo, la evaluación y cartografía de los mismos nos conduce a la preparación de un mapa de erosión. En el presente trabajo se han aprovechado las facilidades que brinda un Sistema de Información Geográfica al cual se han incorporado la información relativa a los factores relieve, precipitaciones y suelo en formato digital. En este ambiente, partiendo del Modelo Digital de Elevaciones se obtiene de forma automatizada la pendiente y otros parámetros que dependen de la geometría de la superficie como son la dirección del flujo, y el flujo acumulado. Se evalúan además índices climáticos e hidrológicos tomados de la literatura, así como propiedades del suelo mediante operaciones de álgebra de mapas. Como principal resultado de todo este proceder se obtiene el mapa de erosión de suelos de Cuba a escala 1:250 000.



## **APLICACIÓN SIG PARA EVALUAR EL PELIGRO DE INUNDACIONES**

Willy Rodríguez Miranda, Rosa María Valcarce Ortega

*CUJAE, Calle 114 entre 119 y 127, Marianao, Telef: 266 3262*  
*e-mail: [willy@civil.cujae.edu.cu](mailto:willy@civil.cujae.edu.cu), [rosy@tesla.cujae.edu.cu](mailto:rosy@tesla.cujae.edu.cu)*

La cartografía de las zonas con peligro de inundaciones, es una tarea de suma importancia para preservar la vida y las propiedades en muchas partes del planeta, debido a que este tipo de peligro natural afecta a regiones muy diferentes en casi todo el mundo.

Durante la planificación regional para el desarrollo y en relación con el peligro de inundaciones se deben tener en consideración las siguientes características superficiales: topografía o pendiente del terreno, especialmente su horizontalidad; geomorfología, tipo y calidad del suelo; hidrología y extensión de las inundaciones, así como la frecuencia e intensidad de las precipitaciones que históricamente ocurren en la zona bajo estudio.

El trabajo que se presenta, evalúa la susceptibilidad del territorio nacional cubano ha ser inundado, utilizando una combinación de los factores antes mencionados, así como la experiencia internacional acumulada en esta dirección.

Toda la información fue soportada y procesada empleando un Sistema de Información Geográfico y como resultado final se obtiene un Mapa de Peligro de Inundaciones para el territorio nacional cubano, que constituye punto de partida para:

- decidir sobre posibles inversiones regionales. dictar políticas de control y mitigación de los riesgos ante posibles inundaciones.
- evaluar las posibles pérdidas motivadas por este peligro natural.



## CARTOGRAFIA DIGITAL Y SISTEMA DE INFORMACION DE SUELOS MUNICIPIO HABANERO DE SAN ANTONIO DE LOS BAÑOS, CUBA

**Efrén Jaimez Salgado<sup>1</sup>, Alberto García Rivero<sup>2</sup>, Ismael Hernández de la Oliva<sup>3</sup>,  
Jorge Olivera Acosta<sup>4</sup>, Mario Campos Dueñas<sup>5</sup>, Mario Guerra Oliva<sup>6</sup>, Reinaldo  
Fleita Ruíz<sup>7</sup>**

- (1) Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, Ciudad de La Habana, CP 11 600, Cuba. C. Eléct.: [ejaimenz@iga.cu](mailto:ejaimenz@iga.cu)
- (2) Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, Ciudad de La Habana, CP 11 600, Cuba. C. Eléct.: [albertogarcia@iga.cu](mailto:albertogarcia@iga.cu)
- (3) Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, Ciudad de La Habana, CP 11 600, Cuba. C. Eléct.: [ismael@iga.cu](mailto:ismael@iga.cu)
- (4) Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, Ciudad de La Habana, CP 11 600, Cuba. C. Eléct.: [yoyo@iga.cu](mailto:yoyo@iga.cu)
- (5) Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, Ciudad de La Habana, CP 11 600, Cuba. C. Eléct.: [mcampos@iga.cu](mailto:mcampos@iga.cu)
- (6) Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/ 29 y 31, La Coronela, La Lisa, Ciudad de La Habana, CP 11 600, Cuba. C. Eléct.: [puma@iga.cu](mailto:puma@iga.cu)
- (7) Grupo Borrás, Sociedad Espeleológica de Cuba, Apartado Postal 485 Habana 15, CP 11 500, Ciudad de la Habana, Cuba. C. Eléct.: [espeleo-l@iga.cu](mailto:espeleo-l@iga.cu)

### RESUMEN

Se presenta la *Cartografía Digital y Sistema de Información de Suelos* (SIS) del municipio habanero de San Antonio de los Baños, caracterizado por una fuerte tradición agrícola y tabacalera que ha dado al traste en el desarrollo de distintos procesos degradantes y la contaminación ambiental de una parte importante de sus suelos, consecuencia del mal manejo y explotación durante décadas de este recurso en el territorio. Se ofrece un *MiniAtlas Digital de los Suelos* del Municipio en formato de imágenes para Windows así como el SIS propiamente dicho y sus correspondientes bases de datos, debidamente georreferenciadas. Los principales problemas ambientales y procesos degradantes de los suelos aquí se relacionan, en primera instancia, con la compactación y la erosión potencial (determinada según *Norma Cubana* 36/99), así como con la contaminación de una parte significativa de estos suelos por metales pesados en la mitad sur del Municipio (especialmente Cu y Mn) y la existencia de algunas áreas muy afectadas por residuales sólidos y líquidos urbanos. Otros procesos degradantes son problemas de drenaje asociados a suelos Hidromórficos y Ferralíticos Rojos Hidratados, la acidificación de suelos en campos de cítricos de la UBPC 9 de Abril al noroeste del Municipio, así como el incremento del pH en solución de KCL (alcalinización ligera a moderada), en otra parte de los suelos del territorio. Esto último, obedece al parecer al uso durante décadas de aguas bicarbonatadas cálcicas para el riego agrícola, captadas por medio de pozos que interceptan la zona cársica saturada.

### ABSTRACT

It is presented the Digital Cartography and Soils Information System (SIS) of the San Antonio de los Baños municipality, characterized by a strong agricultural and tobacco tradition which has given to the fret in development of different degrading processes and the environmental contamination on important part of their soils. It is considerate as a consequence of the wrong handling and exploitation during decades of this resource in the territory. A Digital MiniAtlas of Soils at the Municipality are offered on images format for Windows as well as the properly this SIS and its corresponding databases. The main environmental problems and degrading processes in soils here are related in first instance, with the compaction and potential erosion (according to *Norma Cuban* 36/99), as well as with contamination on significant part of these soils for metals in the south half of the Municipality (especially Cu and Mn) and the existence of



some areas very affected by residual solids and urban liquids. Other degrading processes are drainage problems associated to *Gleysols* and *Ferralsols*, the acidification in fields of citric of the UBPC 'April 9' on the northwest of the Municipality, and the increment of the pH in solution of KCL, in other parts of territory soils. The last one obeys the use apparently during decades of carasic waters for the agricultural watering, captured by means of wells that intercept the saturated carasic area.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo presentamos la *Cartografía Digital y Sistema de Información de Suelos (SIS)*, del Municipio habanero de San Antonio de los Baños, caracterizado por una fuerte tradición agrícola y tabacalera que ha dado al traste en el desarrollo de distintos procesos degradantes y la contaminación ambiental de una parte importante de sus suelos, consecuencia en última instancia del mal manejo y explotación que durante décadas ha tenido por lo visto este recurso en el territorio.

El trabajo en sí consiste de un *MiniAtlas Digital de los Suelos del Municipio* en formato de imágenes para Windows (una parte de las cuales se Anexan al final de este documento), obtenidas a partir de la información disponible en un *Sistema de Información de Suelos* del Municipio elaborado por los autores (SIS), con bases de datos debidamente georreferenciadas, y el mismo forma parte del proyecto *Atlas Ambiental del Municipio San Antonio de los Baños* que acomete el IGA, para cuyo fin se contó con el apoyo de las autoridades del territorio y de toda una valiosa información analítica del *Servicio de Suelos*, aportada por Cooperativas, Empresas Agrícolas, UBPC, así como de los recorridos y muestreos de comprobación realizados por nuestra propia institución.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de los mapas y bases de datos analíticos de los suelos del Municipio, se partió primeramente de toda una abundante y fluida información (data analítica) de los suelos del territorio, obtenida a partir de caracterizaciones previamente realizadas en los campos de cultivo por el *Servicio Nacional de Suelos*, a solicitud de diferentes empresas agrícolas y cooperativas del Municipio.

Algunas de las principales técnicas empleadas para el *Servicio de Suelos* por parte del Laboratorio Provincial de Suelos y Fertilizantes fueron:

- pH: Método Potenciométrico
- Acidez de cambio: Método de Sokolov.
- Acidez hidrolítica: Método de Kappen, modificado por el Instituto de Suelos.
- carbonatos: Método Gasométrico.
- Cationes cambiables: Método de Shutchabell.
- Bases de Cambio: Método de extracción por  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N a pH 7
- Materia Orgánica: Método de Walbey Blork
- Fósforo y Potasio Asimilables: Métodos de Oniani y Machiguin
- Nitrógeno Total: Método microkjeldahl
- Análisis de Sales (SST): Método por Conductividad Eléctrica



La representación de la información obtenida fue plasmada en diferentes mapas temáticos, los cuales tuvieron como base cartográfica el Mapa de Suelos a escala 1: 25 000 del MINAG en ese territorio (Dirección Nacional de Suelos y Fertilizantes, 1984).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Municipio San Antonio de los Baños posee más del 60 % de sus suelos agrícolas dentro del agrupamiento de suelos Ferralíticos, específicamente del tipo Ferralítico Rojo (*Ferralsol ródico* según Sistema de Clasificación de la FAO – Unesco, 1998), con predominio del subtipo Compactado, seguido por los subtipos Típico e Hidratado.

En segundo lugar y en paragénesis, se encuentran los suelos del agrupamiento Ferrálicos, del tipo Ferrálico Rojo (*Cambisol ferrálico* según FAO, *op. cit*); los que constituyen un intergrado evolutivo con los suelos del agrupamiento anterior (formados bajo proceso de ferralitización incompleta). Estos suelos Ferrálicos no habían sido descritos como un agrupamiento independiente en Cuba, antes de 1995 (Instituto de Suelos, 1999). Por su importancia y su relación pedogenética con los verdaderos suelos Ferralíticos, los mismos ocupan no sólo el segundo lugar en distribución en el territorio, sino también el segundo lugar por su valor agroproductivo.

En sentido general, puede decirse que en el Municipio San Antonio de los Baños hay un predominio de suelos de la Clase Agrológica II (suelos Productivos), los cuales permiten obtener altos niveles de rendimientos agrícolas, pero con presencia de algunas mermas debido a factores limitantes para la agricultura, entre los que sobresalen la compactación intensa que se observa en algunas áreas, seguida de un incremento en la pedregosidad, rocosidad, etc.

Otros suelos de menor importancia en el Municipio son las Rendzinas y Protorrendzinas Rojas (*Leptosol réndico* y *Leptosol lítico* respectivamente de acuerdo con FAO, *op. cit*), las que están asociadas con áreas con fuertes procesos de denudación cársica y problemas de erosión, que fueron cartografiados también por tipo y subtipo de carsos.

En general, estos suelos rendziniformes se caracterizan por ser poco profundos, gravillosos, pedregosos, con elevados tenores de Carbonato de Calcio (> 40 %), siendo la mayor parte de las veces suelos pertenecientes a las Clases Agrológicas IV y V (Medianamente a Poco Productivos).

Asimismo, existen aquí otras pequeñas áreas con suelos del agrupamiento Fersialítico, tipo Fersialítico Pardo Rojizo con Carbonatos (*Cambisol Calcárico* según FAO, *op. cit*), también pequeñas áreas con suelos del agrupamiento Poco Evolucionados, tipo Lithosol, subtipo Éutrico (*Leptosol lítico* según FAO, *op. cit*), distribuidos fundamentalmente en la margen oriental de la cabezada del río Ariguanabo, y un área significativamente menor al norte del territorio, con suelos del agrupamiento Hidromórfico, tipo Gley Nodular Ferruginoso (*Gleysol Éutrico* según FAO, *op. cit*), el cual está asociado a las zonas de inundación estacional de la depresión del río Govea y la antigua Laguna de Ariguanabo.



## Principales Procesos Degradativos en los Suelos del Municipio San Antonio

En sentido general, puede decirse que los principales problemas ambientales relacionados con el uso y manejo inadecuado del suelo durante décadas en San Antonio de los Baños (**procesos degradantes**) son: en primer lugar la compactación excesiva, que se manifiesta fundamentalmente en los suelos Ferrálicos y Ferralíticos Rojos (en este orden), debido a una condición de predisposición natural de algunos de estos suelos y al uso excesivo de maquinaria agrícola pesada.

En segundo lugar, se puede apreciar de los resultados de muestreos agroquímicos, el inicio de un proceso ligero de alcalinización (ligera a moderada), en la mayoría de los suelos agrícolas (principalmente en los que se distribuyen en la mitad Este del Municipio), lo que al parecer es consecuencia de esta predisposición natural a las que hacemos referencia antes, adicionado al uso durante décadas de las aguas subterráneas de la región (bicarbonatadas cálcicas), para el riego agrícola.

En tercer lugar por su importancia corresponde al proceso de acidificación de una parte de los suelos, fundamentalmente de aquellos que se encuentran distribuidos en campos de cítricos de la UBPC 9 de Abril, al noroeste del Municipio, lo que puede estar relacionado con el empleo excesivo de fertilizantes, plaguicidas, y pesticidas de origen químico, en las plantaciones de este sector agrícola. También se aprecian algunos campos menores, con proceso de acidificación en áreas de la Empresa Lázaro Peña (tabaco).

La contaminación de una parte de los suelos por el aparente elevado nivel de metales pesados (especialmente de Cobre y Manganese), encontrados en algunos campos del sur y sureste del territorio, asociados con áreas agrícolas de la mencionada Empresa Lázaro Peña, pudiera llegar a ser un problema ambiental no menos importante, relacionado con el mal uso y manejo del suelo en el Municipio. Los valores medios de ambos metales para una muestra de 137 campos de tabaco fueron aquí de hasta 309.1 ppm en el caso del Cu, y de hasta 2139.9 ppm en el caso particular del Mn, lo que supera en el primero de los dos casos (Cu), el valor límite establecido por la *Directiva 86/278* de la CEE para los suelos agrícolas.

En el caso particular del Manganese, el valor medio encontrado para la muestra de referencia no supera el umbral límite establecido por las *Normas Internacionales* pero se acerca sin embargo de manera considerable a este, por lo que dicho valor pudiera ser superior en algunas áreas que no fueron estudiadas, o superar los valores absolutos encontrados en la muestra de trazas de los 137 campos estudiados, bajo la óptica de nuevos estimados más precisos.

El análisis del comportamiento del contenido de fósforo asimilable ( $P_2O_5$ ) superior a 250 mg/kg (ppm) en la inmensa mayoría de los suelos en explotación agrícola intensiva en el Municipio San Antonio de los Baños, permite confirmar la existencia de niveles muy altos de este macroelemento (en ocasiones excesivo: superiores a 1000 ppm) lo que puede llegar a ser un elemento desfavorable para el desarrollo y rendimiento de muchos cultivos agrícolas a pesar de tratarse de uno de los elementos principales para la nutrición de estos. Aunque el fósforo asimilable es un nutriente fundamental para el desarrollo radicular y el crecimiento de las plantas (formando parte de los llamados elementos principales, conjuntamente con el nitrógeno y el potasio), hay que decir que tenores muy altos de este, pueden llegar a ser nocivos para los cultivos debido al bloqueo de algunos microelementos como el Zinc, lo que ofrece una medida de ponderación, conjuntamente con otros procesos degradantes antes referidos, de los niveles de impacto a que han estado sometido algunos suelos agrícolas de este Municipio, debido al abuso de fertilizantes químicos y otros insumos para la explotación agrícola.





La existencia asimismo de algunas áreas muy afectadas por residuales sólidos y líquidos urbanos (como el caso de la finca La Carambola), pudiera llegar a ser otro problema ambiental relacionado con la contaminación de una parte de los suelos en el Municipio San Antonio.

Menos importante por su carácter local son las áreas afectadas por *procesos erosivos* fuertes e incluso muy fuertes, vinculadas a colinas calcáreas y faldeos del curso medio superior del río Ariguanabo, las que no se encuentran actualmente en explotación agrícola, sino únicamente de tienen uso silvicultural (suelos Improductivos: Clase VII), así como áreas pequeñas al norte, del territorio que son susceptibles al *aniego y empantanamiento* (problemas de hidromorfía y mal drenaje).

## CONCLUSIONES

1. El Municipio San Antonio de los Baños posee más del 60 % de sus suelos agrícolas dentro del agrupamiento de suelos Ferralíticos, específicamente del tipo Ferralítico Rojo (*Ferralsol ródico* según Sistema de Clasificación de la FAO – Unesco, 1998), con predominio del subtipo Compactado, seguido por los subtipos Típico e Hidratado.
2. En segundo lugar se encuentran los suelos del agrupamiento Ferrálicos, del tipo Ferrálico Rojo (*Cambisol ferrálico* según FAO, *op. cit*); los que constituyen un intergrado evolutivo con los suelos del agrupamiento anterior (formados bajo proceso de ferralitización incompleta).
3. Los suelos Ferrálicos no habían sido descritos como un agrupamiento independiente en Cuba, antes de 1995 (Instituto de Suelos, 1999). Por su importancia y su relación pedogenética con los verdaderos suelos Ferralíticos, los mismos ocupan no sólo el segundo lugar en distribución en el territorio, sino también el segundo lugar por su valor agroproductivo.
4. Otros suelos de menor importancia en el Municipio son las Rendzinas y Protorendzinas Rojas (*Leptosol réndsico* y *Leptosol lítico* respectivamente de acuerdo con FAO, *op. cit*), las que están asociadas a áreas con fuertes procesos de denudación cársica y problemas de erosión, que también fueron cartografiadas por tipo y subtipos de carsos.
5. Los principales problemas ambientales y procesos degradantes de los suelos en el Municipio se relacionan con la compactación intensa en gran parte de los suelos agrícolas del mismo, la alcalinización (ligera a moderada), la acidificación (fundamentalmente en sectores del noroeste del territorio), y en menor cuantía con la erosión actual y potencial (NC 36/99), fundamentalmente en las riveras del curso superior del río Ariguanabo.
6. La contaminación de una parte significativa de los suelos por metales pesados en la mitad sur del Municipio (especialmente Cu y Mn), y la existencia de algunas áreas muy afectadas por residuales sólidos y líquidos urbanos, pudieran llegar a ser otro problema ambiental relacionado con el mal uso y explotación de los suelos en San Antonio de los Baños.



## RECOMENDACIONES

- ♦ Realizar una caracterización a escala detallada y bajo un enfoque ambiental más preciso, del comportamiento aparentemente alto de metales pesados en los suelos de la Empresa Tabacalera Lázaro Peña.
- ♦ Realizar un estudio ambiental de las posibles causas de la contaminación por metales de estos suelos y las posibles soluciones para su control y nivelación dentro de los umbrales permisibles en el futuro.
- ♦ Realizar un estudio del impacto de la contaminación por residuales sólidos y líquidos en algunas áreas de suelos de elevado valor agroproductivo.
- ♦ Sensibilizar a las entidades agrícolas del Municipio con la cultura ambiental y necesidad de aplicación de las normas correctas de fertilizantes e insumos a los diferentes campos de cultivo.
- ♦ Evitar al máximo posible el uso y abuso de la maquinaria agrícola pesada en las tierras agrícolas del Municipio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- DIRECCIÓN NACIONAL DE SUELOS Y FERTILIZANTES., 1984. Mapa de Suelos del Municipio San Antonio de los Baños, escala 1: 25 000. Editado por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, ICGC.
- FAO – UNESCO., 1998. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelos. (Resumen de la Leyenda Revisada del Mapa Mundial de Suelos a escala 1: 5000 000). Versión en Español preparada por Tarsy Caballas y colaboradores. Santiago de Compostela: 59 p.
- INSTITUTO DE SUELOS., 1999. *Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*. Editorial AGRINFOR. La Habana: 64 p.



## ANEXOS

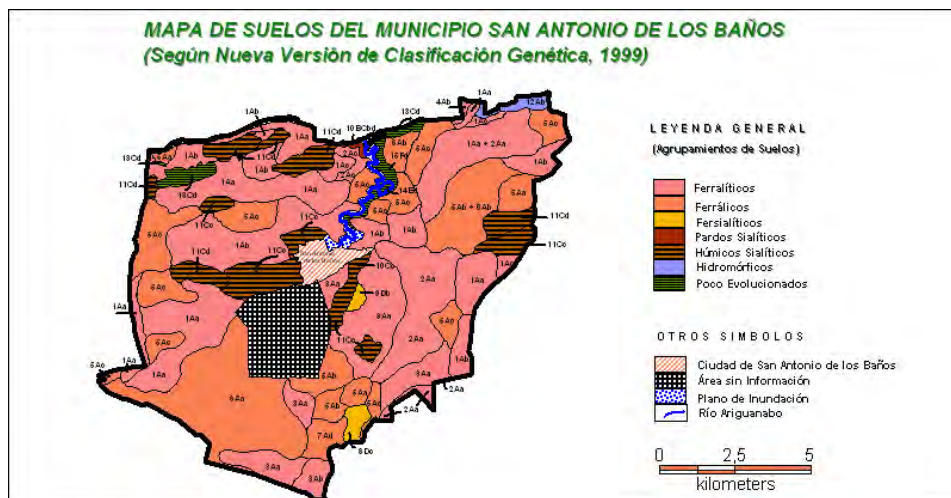


Fig. 1 Mapa de Suelos del Municipio San Antonio de los Baños  
Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Inst. Suelos, 1999)

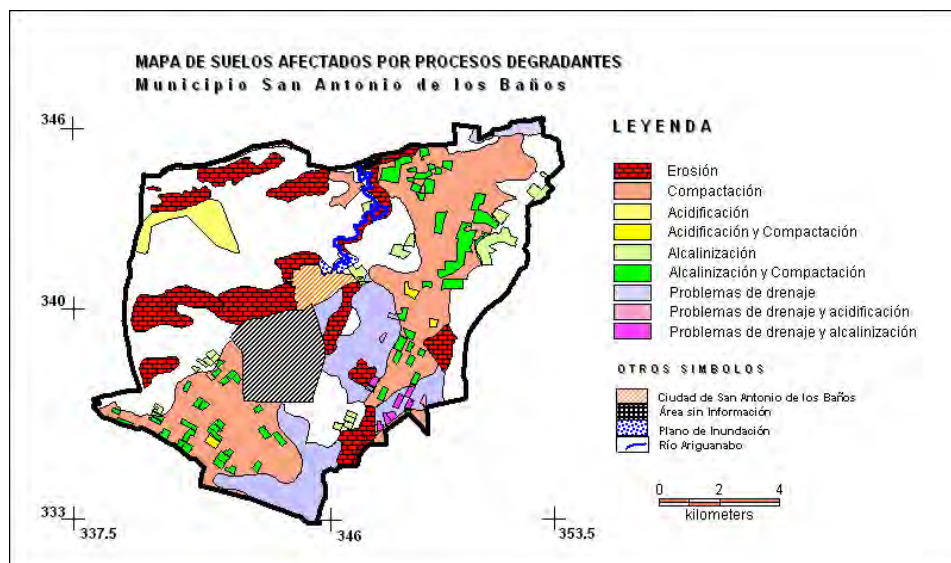


Fig. 2 Mapa de Suelos afectados por Procesos Degradantes en el  
Municipio habanero de San Antonio de los Baños

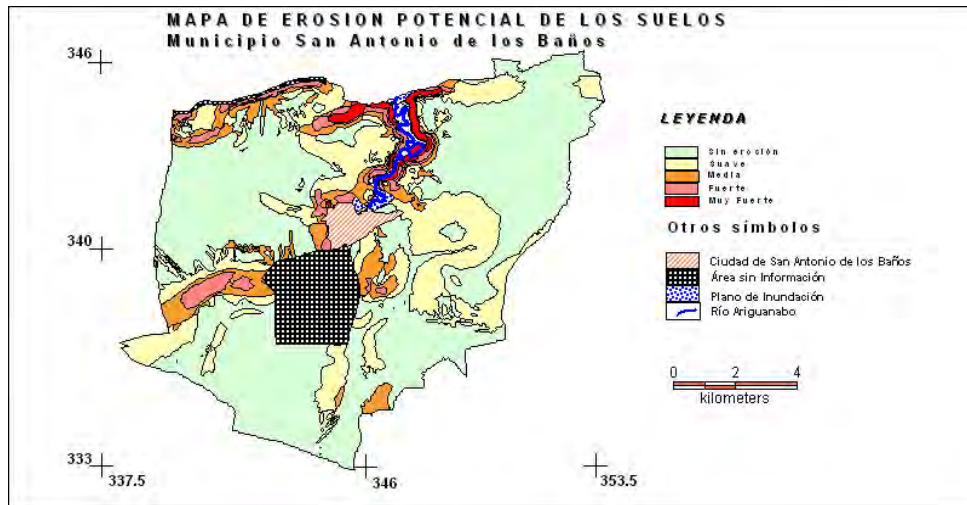


Fig. 3 Mapa de Erosión Potencial de los Suelos del Municipio San Antonio, Norma Cubana (NC 36 / 1999)

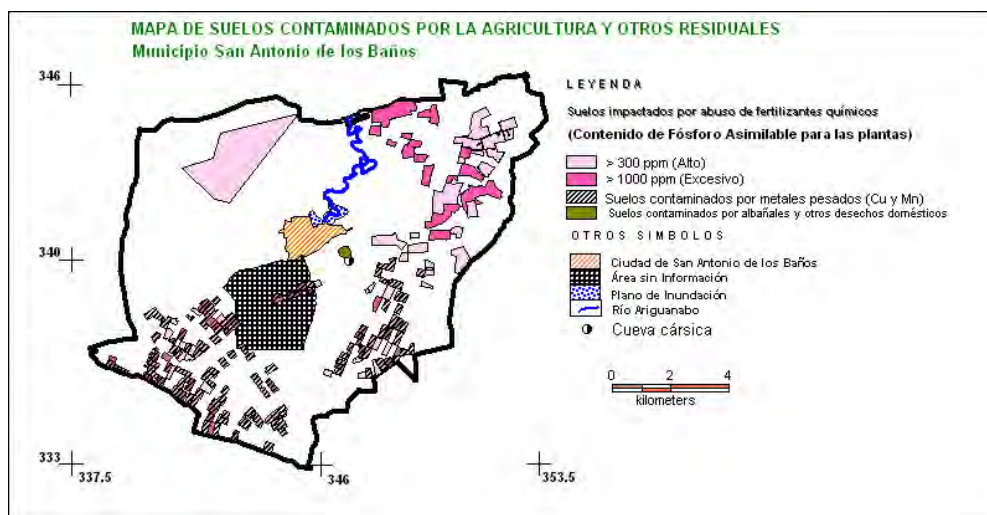


Fig. 4 Mapa de Suelos Contaminados por Mal Manejo Agrícola en el Municipio San Antonio de los Baños



## WEBMINERAL: IDENTIFICADOR DE MINERALES EN MUESTRAS MACROSCÓPICAS

Lilietta Cardoso Velázquez, [lcardoso@geomin.ismm.edu.cu](mailto:lcardoso@geomin.ismm.edu.cu), Dr. Arturo Rojas Purón\*  
[artrojaspuron@ismm.edu.cu](mailto:artrojaspuron@ismm.edu.cu)

*\* Departamento de Geología del ISMM*

Constituye un software para la identificación de minerales según una página web en la cual el usuario puede realizar la identificación de minerales según las propiedades físicas diagnósticas que poseen los minerales presentes en muestras macroscópicas.

Mediante el presente programa se puede consultar una base de datos de minerales patrones, en la cual se exponen las principales características cristalográficas y mineralógicas, contando con un juego de fotos para cada especie mineral. Forma parte importante y de carácter didáctico, la opción de acceder a una panorámica de los principales grupos o clases de minerales, según la clasificación de Dana, en el cual se puede verificar aspectos teóricos de cada grupo mineralógico. Una de sus opciones permite conocer o verificar conceptos básicos de Mineralogía, además de presentar una breve metodología para la identificación de las especies minerales.

Esta página web se concibe vinculada a otros software del paquete Microsoft como el acces, lo cual exige de cierta forma una superación para el usuario de algunos de estos programas, lo cual permite aplicar de forma más multifacética los distintos sistemas disponibles en los ordenadores actuales.

Resulta interesante el carácter interactivo de este sistema, donde el usuario es guiado mediante el programa, pero necesita realizar una serie de determinaciones de propiedades físicas de los minerales que pueden ser sugeridos por el software.

Se ha concebido su vinculación plena con otras páginas relacionadas con el estudio y la identificación de minerales, como la página web del Museo de Geología del ISMM.



## APLICACIÓN DE LA LÓGICA DE LOS CONJUNTOS DIFUSOS EN LAS GEOCIENCIAS

Emilio R. Escartín

(1) Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127, Cujae, Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba CP 19390, FAX: (537) 267 2013, Tel. 266 3262, e-mail: [escartin@civil.cujae.edu.cu](mailto:escartin@civil.cujae.edu.cu)

En los casos más comunes y frecuentes, se asume que los fenómenos del mundo real pueden ser modelados ya sea mediante entidades definidas y delineadas con exactitud, tales como polígonos, o mediante campos continuos de variaciones más o menos suaves. Tradicionalmente las incertezas han sido tratadas probabilísticamente, usando los métodos estadísticos convencionales y la estadística espacial o Geoestadística. Sin embargo, existe una manera diferente de tratar las incertezas, la complejidad y la vaguedad en términos de conjuntos difusos (o borrosos, del inglés **fuzzy**) superpuestos. En lugar de las probabilidades, la teoría de los conjuntos difusos utiliza los conceptos de **posibilidad admitida**, los cuales se describen en términos de una función de membresía difusa. Las funciones de membresía difusa permiten a las entidades espaciales modeladas constituirse en miembros parciales de conjuntos diferentes y superpuestos. Dichos conjuntos pueden ser definidos externamente, usando el modelo de Importación Semántica, o pueden ser calculados a partir de datos multivariados, usando los métodos de las k-medias difusas. Si además, los datos originales son referidos a sus locaciones geográficas correspondientes, las funciones de membresía pueden ser cartografiadas a través de interpolaciones: allí donde se intersectan las superficies de diferentes conjuntos difusos, existirán áreas de "confusión" y podrán ser objeto de atención especial para la estimación de fronteras delineadas exactamente. Este tipo de tratamiento de ciertas entidades espaciales encuentran una amplia aplicación en las Ciencias Ambientales, interpretación de imágenes en general, cartografía y clasificación de suelos, cartografía de sustancias contaminantes, Botánica, etc.

En el trabajo se presentan varios ejemplos ilustrativos de las ventajas del uso de la Lógica de los Conjuntos Difusos en la solución de problemas del dominio de las Geociencias.





## MODELAJE GEOLÓGICO Y DE RECURSOS DEL YACIMIENTO "PASTELILLO" UTILIZANDO EL KRIGEAJE DE INDICADORES.

**Orestes Gómez González<sup>(1)</sup>, Elmidio Estévez Cruz<sup>(2)</sup> y José Quintín Cuador Gil<sup>(3)</sup>**

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca s/n y Czda. de Güines, San Miguel del Padrón, C.P. 11000, C. Habana, Cuba. E-mail: [oregomez@yahoo.ca](mailto:oregomez@yahoo.ca)

(2) Universidad de Pinar del Río, Departamento de Geología, Martí 270, CP 20100, Pinar del Río, Cuba. E-mail: [estevez@geo.upr.edu.cu](mailto:estevez@geo.upr.edu.cu)

(3) Universidad de Pinar del Río, Departamento de Informática, Martí 270, CP 20100, Pinar del Río, Cuba. E-mail: [cuador@info.upr.edu.cu](mailto:cuador@info.upr.edu.cu)

### RESUMEN

En ocasiones la complejidad y variabilidad de un yacimiento mineral hace difícil establecer dominios geológicos homogéneos que puedan ser utilizados para aplicar control geológico a la estimación de los parámetros más relevantes. La imposibilidad de crear un modelo geológico con unidades bien definidas conlleva a trabajar con poblaciones heterogéneas, lo cual degrada considerablemente la calidad de las estimaciones. Tal es el caso del yacimiento de materia prima para cemento "Pastelillo", en el que es difícil reproducir la geometría de los distintos tipos tecnológicos utilizando el método tradicional de correlación geológica. Las distintas litologías que conforman el yacimiento están completamente mezcladas tanto en el plano como por la vertical, estos frecuentes cambios faciales provocan una gran variabilidad litológica y tecnológica en el yacimiento. Teniendo en cuenta este hecho se propone emplear un método de interpolación espacial que permita hacer estimaciones en presencia de poblaciones complejas. El presente trabajo aborda la solución dada por los autores al complejo problema de establecer un modelo tecnológico y de recursos para el yacimiento "Pastelillo" a partir del empleo de una técnica de estimación de la geoestadística no lineal: El Krigeaje de indicadores.

### ABSTRACT

Very often the complexity and variability of a mineral deposit makes difficult to define homogeneous geologic domains that can be used to apply geological control to the estimation of the most important parameters. The fact, that it is not possible to create a geologic model with very well defined units, leads to work with a complex population and considerably downgrades the estimation quality. The cement raw material deposit "Pastelillo" is a typical case study where it is difficult to reproduce the geometry of the different technological types using the traditional method of geologic correlation. The different lithologies forming the deposits are mixed up as much in the plane as for the vertical direction. These frequent facial changes cause a great lithological and technological variability in the deposit. Considering this fact, it is proposed to use an interpolation method that allows estimating in the presence of complex populations. This paper focuses on the solution, given by the authors to the complex problem of establishing a technological and resources model of "Pastelillo" deposit, which involves the use of nonlinear geostatistical estimation technique: The Indicator kriging.



## INTRODUCCIÓN

La estimación de recursos/reservas no es más que la determinación, con el mínimo de error posible, de la cantidad de mineral/metal existente en el yacimiento. Para esto el geólogo debe interpretar la geología del yacimiento, estimar el comportamiento espacial de los componentes útiles dentro del yacimiento y presentar la información a las partes interesadas haciendo uso de los sistemas de clasificación de recursos y reservas.

La creación del modelo geológico es uno de los pasos de mayor importancia y responsabilidad que se realizan durante la estimación de recursos y reservas. Durante la interpretación, el conocimiento que se posee sobre la estructura y la continuidad de la ley y la geología se representa en forma de dominios o zonas geológicamente homogéneas, creandose un modelo tridimensional de los mismos que representa su posición y forma.

Junto con un muestreo representativo y análisis confiables, la interpretación es una de las etapas más críticas en la estimación de recursos/reservas, de manera que mucho de los errores cometidos en el cálculo están relacionados con la aplicación incorrecta de los principios geológicos, con el trazado de límites erróneos del yacimiento mineral y la incapacidad de generar un cuerpo lo suficientemente continuo que cumpla con los requerimientos de la minería. Normalmente los errores potenciales asociados con una interpretación geológica incorrecta e inapropiada son una magnitud de orden superior que los errores asociados con la estimación de la ley.

Owens, (1993) reconoce que las diferencias sustanciales que en ocasiones existen entre las reservas estimadas y lo que realmente se extrae, son provocadas por el contorno incorrecto de los cuerpos minerales o por el tratamiento inadecuados de los datos de la ley y la potencia dentro de los contornos. Mientras Arseneau y Roscoe, (2000) reconocen que el principal problema en la estimación de recursos no radica en el método de estimación empleado sino en el establecimiento de la continuidad de la mineralización y la ley dentro del yacimiento.

Las dificultades en la interpretación y creación del modelo geológico, están relacionadas con la cantidad limitada de datos disponibles en el momento de realizar la estimación y con la variabilidad propia de la mineralización que se estudia.

La interpretación geológica tradicionalmente se ha desarrollado mediante la construcción de planos y secciones en los cuales se representa la morfología, dimensiones y propiedades del yacimiento (Popoff, 1966). El modelo se genera a partir de la correlación geológica de un dominio o unidad, primero entre pozos de una misma sección y posteriormente entre los distintos perfiles. Este método de interpretación no ha perdido vigencia y se encuentra implementado en los sistemas de modelaje geológico minero actuales.

Una vez concluida la interpretación de los diferentes dominios, el geólogo construye el modelo de recurso discretizando la geometría tridimensional de cada dominio y rellenándolo con bloques (modelo de bloque). Los límites de los distintos dominios se emplean para aplicar control geológico a la estimación y evitar cambios gradacionales de la variable estimada entre dos dominios contiguos.

Existen yacimientos que por su complejidad geológica es prácticamente imposible separar dominios geológicos homogéneos que posean una clara coherencia espacial. En los



yacimientos de materias primas para cemento que aparentemente son muy simples, la cuestión se complica por los cambios faciales tanto laterales y verticales que se manifiestan en los mismos. Este problema se acentúa cuando se introducen las exigencias de la materia prima que estipula la industria y es necesario entonces generar un modelo tecnológico del yacimiento.

En el yacimiento Pastelillo, el CaO que define los distintos tipos tecnológicos, es un parámetro extremadamente variable lo cual provoca una gran variabilidad litológica tanto por la vertical como por la horizontal e impide la correlación tecnológica incluso para redes densas de pozos. Este hecho, reconocido por otros autores (Martínez y otros, 2001), constituye un problema pues es prácticamente imposible, empleando los métodos tradicionales de interpretación geológica, establecer cuerpos lo suficientemente continuos de los distintos tipos tecnológicos que puedan ser utilizados posteriormente durante el modelo de recursos.

El presente trabajo aborda la solución dada por los autores al complejo problema de establecer un modelo tecnológico y de recursos para el yacimiento de materias primas para cemento Pastelillo a partir del empleo de una técnica de estimación de la geoestadística no lineal, el Krigeaje de Indicadores. Los resultados obtenidos pueden ser generalizados a otros yacimientos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El yacimiento donde se realiza esta investigación se localiza a unos 75 Km. al norte de la ciudad de Camagüey y a 1 Km. de la ciudad de Nuevitás. Este yacimiento ha sido exhaustivamente estudiado, los primeros trabajos se remontan a 1955, mientras que las últimas investigaciones fueron ejecutadas en el 2002. En este trabajo se utilizó toda la información recogida en las campañas de perforación realizadas en el mismo (tabla I). La base de datos con 3709 muestras fue confeccionada en MsAccess y contiene las coordenadas, la descripción litológica y los valores de los óxidos que caracterizan la calidad de la materia prima (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y MgO).

Tabla I: Campañas de perforación en el yacimiento "Pastelillo"

<b>Etap</b>	<b>Cantidad de Pozos</b>	<b>Metros Perforados (m)</b>	<b>Red utilizada (m)</b>
Cia. Morro 1955	15	435.20	≈ 200x200
Prospección Orientativa 1962	19	621.50	Irregular
Exploración Orientativa 1968	74	2077.80	≈ 200x200 ≈ 100x100
Exploración Detallada 1981	57	847.25	≈ 200x200 ≈ 100x100
Exploración Detallada 1990	102	2353.30	≈ 100x100 ≈ 60x60
Exploración de Explotación 2002	60	2228.85	≈ 75x50
Total	327	8563.90	

Previo al procesamiento las muestras fueron regularizadas a intervalos de 5 m. La longitud del composito se seleccionó considerando la altura del banco de explotación en el yacimiento 15 m y el intervalo medio de muestreo (2.13 m).



Inicialmente se intentó confeccionar el modelo geológico a partir de una serie de cortes orientados en la dirección norte - sur. Para lograr este objetivo las muestras regularizadas fueron codificadas atendiendo a los valores del CaO que se corresponden con los distintos tipos tecnológicos (caliza, caliza margosa, marga, fuera de balance y estéril) diferenciados en el yacimiento.

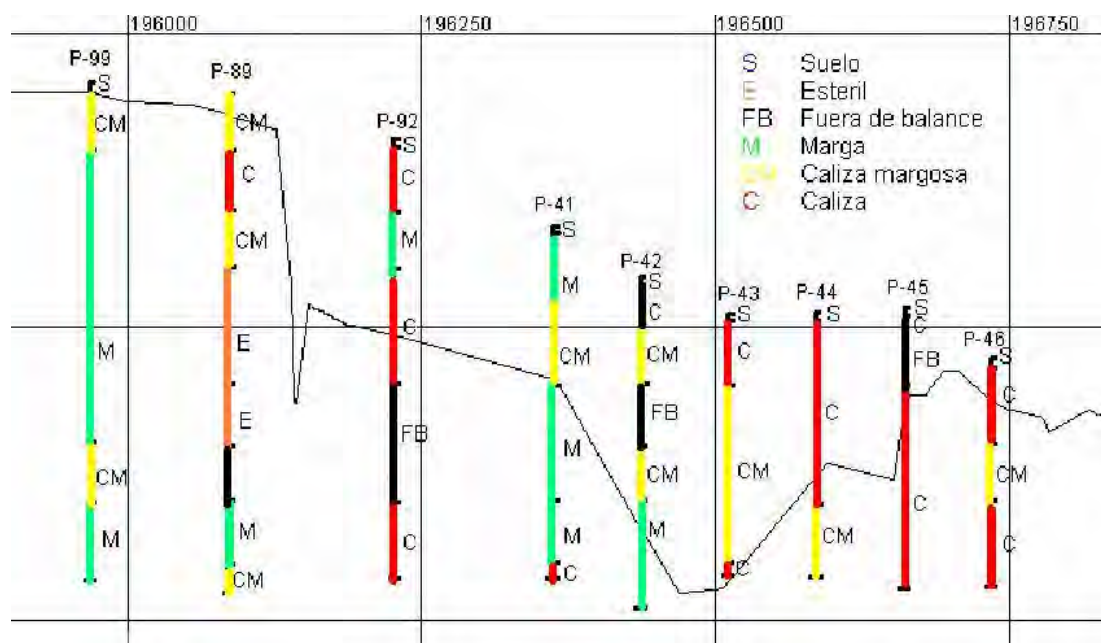
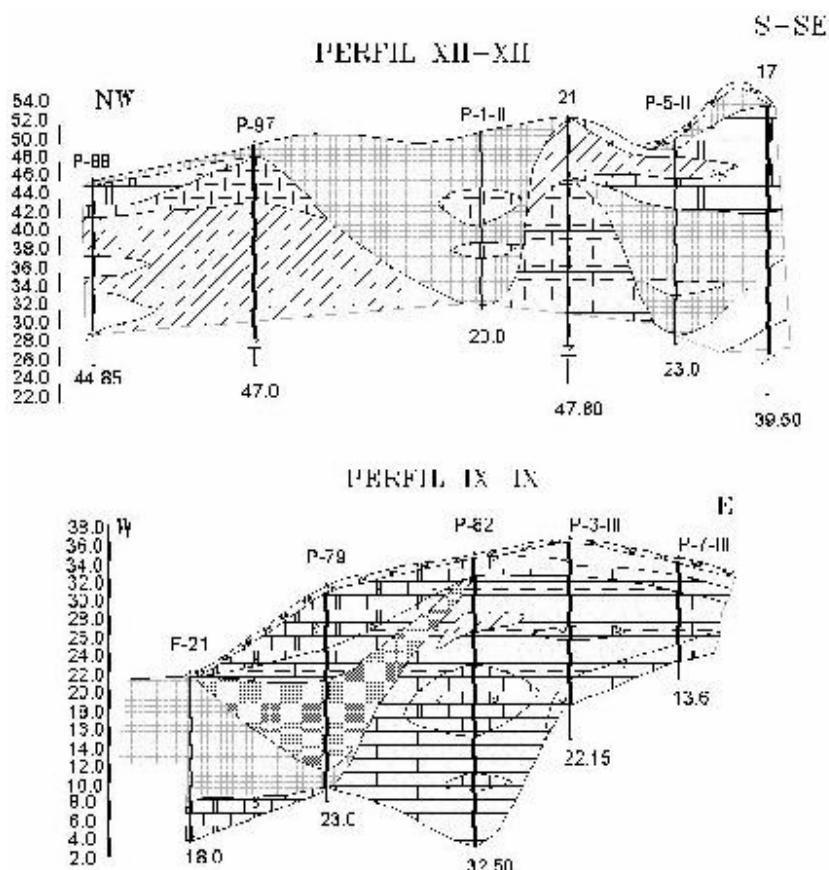


Figura 1: Perfil tecnológico, coordenada 888980 este.

La figura 1 muestra un perfil representativo donde se muestra el tipo tecnológico de cada intervalo muestreado. Los cambios bruscos de los distintos tipos tanto a lo largo de un mismo pozo como en la horizontal impiden la correlación tecnológica y la creación de cuerpos lo suficientemente grandes que puedan ser aprovechados por la minería. Esta variabilidad tecnológica es reflejo de la variabilidad litológica y los frecuentes cambios faciales que se manifiestan en el yacimiento (figura 2).



## LEYENDA

- Capa vegetal.
- Caliza (CaO > 53.2%).
- Caliza margosa (CaO 50.4-53.22%).
- Marga carbonatada (CaO 47.6-50.4%).
- Marga carbonatada (CaO 42.0-47.6%).
- Marga (CaO < 42%).
- Arcilla.
- Nombre del pozo.
- Intervalo de muestreo.

Figura 2: Perfiles geológicos

Como no es posible en este caso concreto hacer la interpretación a partir de la correlación geológica tradicional, se decidió recurrir a un método geoestadístico que tome en consideración la imposibilidad de separar y tratar independientemente los distintos tipos de rocas. Las litologías no poseen coherencia espacial y están completamente mezcladas tanto en el plano como en la vertical. El KI es un método no paramétrico que resuelve el problema de estimar datos de distribuciones no normales, además de





aplicarse en aquellos casos donde se manifiestan varias poblaciones (tipos de mineralización o litologías) y donde no es posible su separación (Glacken y Blackney, 1998, Lemmer, 1984, Chica-Olmo, 1989).

### **Geología del yacimiento**

El yacimiento Pastelillo se localiza en el área donde aflora las rocas de la Fm. Nuevitas de edad  $P_2^3$ , la cual está formada fundamentalmente de arriba hacia abajo por calizas, calizas margosas, margas calcáreas y margas.

Las rocas en el yacimiento poseen una pequeña inclinación de unos  $3^\circ$ -  $6^\circ$  N-NE. Las calizas claras son algo duras las mismas en su parte superior están fuertemente oxidadas por el intemperismo y son algo clásticas, las cavernas de un diámetro de 10 cm -15 cm están rellenas por arcillas y fragmentos de calizas hidroxidadas por el intemperismo. Las calizas margosas se presentan de color amarillento y con una dureza media. Las margas calcáreas presentan poca dureza y color gris claro y oscuro. Las margas presentan color algo verdoso y las mismas constituyen la parte baja del corte y por su quimismo se correlaciona con las margas calcáreas.

En el yacimiento no se observan pliegues ni fallas, pero si la roca está agrietada. Las direcciones predominantes del agrietamiento son NE-SO y NO-SE, con predominio de las grietas abiertas, incluso rellenas de arcilla actual o fósil, pero existen además grietas ocultas o de compresión.

Este yacimiento es sedimentario, las rocas se depositaron en profundidades neríticas de talud lejos de las tierras emergidas, lo cual se evidencia en la pureza y blancura de estas rocas y sus sedimentos finos, en estas aguas había restos de organismos como espículas de esponjas, corales, foraminíferos bentónicos, algas, moluscos, etc., los cuales fueron depositados junto a los detritos carbonatados. Todos los fósiles son del Mioceno inferior, parte baja de la formación Colón o Jaruco.

Estas rocas en el yacimiento sufrieron procesos de recrystalización de sus cristales, así como en algunas zonas existe una incipiente dolomitización, sobre todo en las zonas de caliza dura con mayor contenido de óxido de magnesio; las zonas en las cuales se retiene el agua superficial o fluye mayor cantidad de ésta.

### **Elementos sobre el Krigeaje de Indicadores**

El krigeaje de indicadores no es más que el krigeaje ordinario (simple) de los indicadores calculados en los distintos cutoff o valores umbrales (Issaks y Srivastava, 1989; Goovaerts, 1998). El método es no paramétrico y resuelve el problema de estimar datos de distribuciones no normales, además se aplica en aquellos casos donde existe mezcla de varias poblaciones (tipos de mineralización o litologías) y donde no es posible su separación (Annels y Al-Hassan, 1994; Tulcanaza, 1999). Para cada uno de los cutoff seleccionado se emplea un modelo de variograma diferente esto permite una gran flexibilidad, típica solamente de este método, pues logra separar y usar en la estimación la estructura espacial de las distintas partes de la distribución.

El Krigeaje de Indicadores fue propuesto por Journel (1983) y posteriormente refinado por Lemmer (1984). Desde entonces se ha convertido en una de las técnicas de más amplio uso en la industria minera (Glacken y Blackney, 1998). Este método proporciona la





probabilidad de que el valor de una variable en un punto  $x_0$  o el valor medio en un volumen centrado en la localización  $x_0$  sea superior a un determinado contenido (Tulcanaza, 1999). Su esencia consiste en estimar por Krigeaje (Simple u Ordinario) variables transformadas de acuerdo al formalismo de indicadores. Este formalismo permite transformar una variable numérica en "1" y "0" usando uno o varios valores límites, es decir, uno o varios contenidos tomado como referencia, lo anterior se puede expresar según la siguiente expresión.

$$1_{Z(x) \geq Zc_i} = \begin{cases} 1 & \text{si } Z(x) \geq Zc_i \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

donde:  $1_{Z(x) \geq Zc_i}$  representa el valor que asume la variable en cada localización medida  $x_i$  después de transformada de acuerdo a la condición de si el valor  $Z(x)$  es mayor o igual al valor límite  $Zc_i$ , a este valor límite también se le llama ley de corte o indicador (Deutsch, C. V. & Journel, 1998). Los valores límites  $Zc_i$  pueden estar representados por los contenidos que delimitan un tipo de mena determinado de otro. De este modo se debe obtener una variable transformada por cada indicador. Este procedimiento puede ser utilizado también en variables categóricas, por ejemplo, la presencia o ausencia de un tipo de roca o mineralización (Tulcanaza, 1999).

Una vez realizada la transformación es necesario desarrollar, para cada variable obtenida, el proceso de análisis estructural de igual modo a como se realiza en variables numéricas continuas, primero se calculan los semivariogramas de indicadores y posteriormente se ajustan modelos teóricos de semivariogramas. La expresión para el cálculo de los semivariogramas de indicadores es:

$$\gamma_I(h) = \frac{1}{2Np} \sum_{i=1}^{Np} [I(x) - I(x+h)]^2$$

y los modelos teóricos de semivariogramas son los mismos modelos autorizados definidos en la literatura básica de Geoestadística.

Si existe un sólo valor límite, se realiza el proceso de análisis estructural para la variable transformada a partir de este valor, la cual puede presentar un comportamiento isotrópico o anisotrópico, lo anterior conduce posteriormente al Krigeaje de Indicadores (KI). Pero si existe más de un valor límite, se modela la variabilidad espacial para cada variable obtenida, lo que conduce al Krigeaje de Indicadores Múltiple.

Cuando por falta de información se hace imposible obtener semivariogramas de indicadores con estructuras definidas, puede ser utilizado una aproximación que en muchas situaciones produce buenos resultados (Issaks y Srivastava, 1989), esto es, un modelo de semivariograma de indicador de la mediana para todas las leyes de corte asumida en lugar de uno por cada indicador, es decir, desarrollar el proceso de análisis estructural sobre una sola variable transformada por el mismo formalismo de indicador pero tomando como referencia el valor de la mediana de los datos originales como valor límite. Este procedimiento se conoce como Krigeaje de Indicadores de la Mediana. El Krigeaje de Indicadores cualquiera sea la variante puede ser utilizado en su forma Simple u Ordinaria a partir de los sistemas que se muestran a continuación.



### Krigeaje de Indicadores Simple

$$\text{Estimador: } (1_{Y(x) \geq Z_c})^{KS} = \sum_{i=1}^n \lambda_i (1_{Y(x_i) \geq Z_c}) + \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i\right) E[1_{Y(x) \geq Z_c}]$$

$$\text{Sistema: } \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{Y(x) \geq Z_c}(x_i, x_j) = C_{Y(x) \geq Z_c}(x_i, v) \quad j = 1, \dots, n$$

$$\text{Varianza de Estimación: } \sigma_{Y(x) \geq Z_c}^2 = C(v, v) - \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{Y(x) \geq Z_c}(x_i, v)$$

### Sistema Krigeaje de Indicadores Ordinario

$$\text{Estimador: } (1_{Y(x) \geq Z_c})^{KS} = \sum_{i=1}^n \lambda_i (1_{Y(x_i) \geq Z_c})$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{Y(x) \geq Z_c}(x_i, x_j) + \mu = \gamma_{Y(x) \geq Z_c}(x_i, v) \quad j = 1, \dots, n$$

Sistema:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

$$\text{Varianza de Estimación: } \sigma_{Y(x) \geq Z_c}^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{Y(x) \geq Z_c}(x_i, v) - \gamma(v, v) + \mu$$

### Corrección de Relación de Orden

Los resultados obtenidos de esta manera cuando se utilizan diferentes valores límites presentan una pequeña dificultad que no se observan de forma explícita en el cálculo, es decir, se deben respetar las siguientes relaciones (Issaks y Srivastava, 1989):

1.- Las proporciones obtenidas para cualquier valor de corte no deben ser menores que 0 ni mayores que 1,  $1_{Z > Z_c}^*(x) \in [0, 1]$ .

2.- Cuando se utilizan varios valores de corte, la proporción estimada para un indicador no debe ser mayor que la proporción estimada para un indicador superior,  $1^*(v_i) \leq 1^*(v_j)$  si  $v_i \leq v_j$ .

Existen otros métodos como el inverso de la distancia que siempre satisface estas condiciones, sin embargo, el Krigeaje no las garantiza de forma estricta, de modo que los resultados obtenidos por KI pueden no cumplir con las condiciones anteriores. Si las desviaciones aunque numerosas son pequeñas en magnitud, en el orden del segundo o tercer decimal, lo que es común, se pueden utilizar algunos algoritmos que resuelven estos problemas. Se debe tener en cuenta que las correcciones no deben modificar sustancialmente la serie original de valores construidos, apenas lo mínimo necesario para que conformen una distribución cumulativa lícita.



Según la primera relación es posible producir estimaciones negativas o mayores que 1. En esta situación es posible ajustar estas estimaciones en límites apropiados, es decir, las estimaciones negativas pueden ser llevadas a 0 y estimaciones mayores que 1 pueden ser fijadas a 1.

En la segunda relación, como las proporciones estimadas para cada valor límite son calculadas de forma independientes, existe la posibilidad de que la estimación con un valor de corte no sea consistente con otra. Una vía para detectar esta condición es que la suma de las proporciones para cada localización sea igual a 1, la corrección que se propone es chequear cada par de estimaciones en sucesivos valores de corte y ajustar ambos a su valor medio si estos no satisfacen esta relación de corrección de orden.

### Estimación de contenidos

Una vez obtenidos los valores estimados por KI y corregida la relación de orden es posible utilizar estos para calcular el contenido del bloque en cuestión a partir de la siguiente expresión:

$$Z^*(v) = \sum_{i=1}^n (1_i^*(x) - 1_{i+1}^*(x)) Z_i$$

Donde:  $1_i^*$  es el valor estimado en la localización  $i$  utilizando el KI,  $Z_i$  es el contenido medio del intervalo ( $Z_{c_i}$  y  $Z_{c_{i+1}}$ ) y  $n$  es el número de valores límites utilizados.

## RESULTADOS

El modelo geológico se generó sobre la base de un modelo de bloque, donde en cada celda se estima la probabilidad de que el bloque pertenezca a un determinado tipo tecnológico. Para restringir el modelo de bloque (40 x 40 x 15 m) se definió un modelo geométrico que comprende toda la zona estudiada del yacimiento.

El análisis exploratorio de datos consistió en la caracterización estadística de cada variable, para esto se calcularon los principales estadígrafos (tabla II), y se construyó el histograma (figura 3). Aunque el tratamiento se realizó para todos los óxidos se presenta solamente los resultados del CaO pues éste define el modelo tecnológico del yacimiento.

Tabla II: Estadística básica del CaO.

Estadígrafos	CaO	Estadígrafos	CaO
Número de valores válidos	1080	Curtosis	-0.08
Mínimo	27.65	Estadígrafo K-S calculado	0.02
Máximo	55.90	Estad. K-S, alpha=.10	0.04
Rango	28.25	Estad. K-S, alpha=.05	0.04
Media	45.96	Estad. K-S, alpha=.01	0.05
Mediana	46.07		
Varianza	18.86		
Desviación Estándar	4.34		
Coeficiente de variación	0.09		
Coeficiente de asimetría	-0.28		

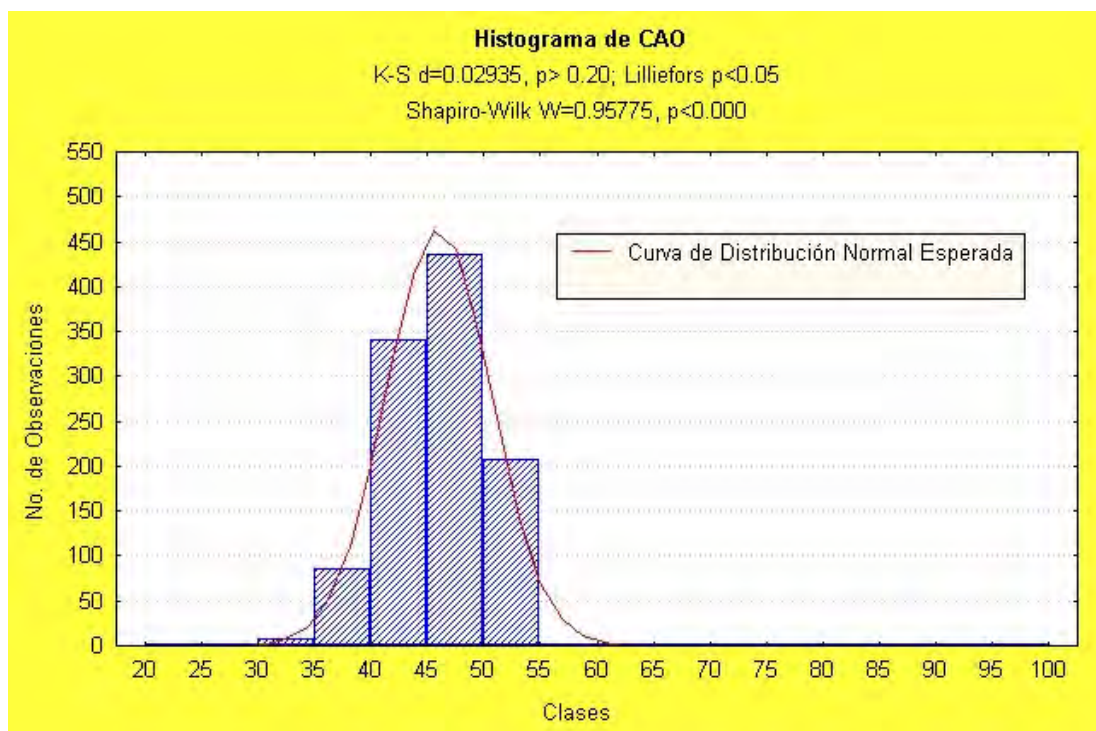


Figura 3 Histograma de CaO.

Los resultados de la prueba KS y la forma simétrica del histograma demuestran que los valores de CaO en el yacimiento se ajustan a un modelo de distribución normal. Aparentemente esta distrución no presenta problemas de homogeneidad, pero su distribución espacial es muy compleja. Se puede interpretar que cuando existen muchos datos esto se ajustan a una distribución normal de acuerdo con el Teorema Central del Límite.

El análisis estructural se realizo en 2 etapas. En la primera se caracterizó la continuidad espacial del CaO en los distintos tipos tecnológicos mientras que la segunda se dirigió a los Indicadores que definen los limites entre los distintos tipos tecnológicos.

Los semivariogramas direccionales para la variable CaO en los tres tipos tecnológicos principales muestran que aún cuando existen estructuras espaciales definidas, el Efecto de Pepita en todos los casos es superior al 75% de la varianza de los datos, lo cual es una evidencia de la alta variabilidad espacial a pequeñas distancia de esta variable. Estos resultados de la variografía corroboran la alta variabilidad tecnológica presente en el yacimiento, la cual como se ha explicado anteriormente dificulta la interpretación geológica por el método convencional de simple correlación.

El análisis estructural, en una segunda etapa, se llevo a cabo para las variables indicadores de CaO, las cuales se definen por valores de corte que separan los distintos tipos tecnológicos (Estéril (E), Fuera de balance (FB), Marga (M), Caliza margosa (CM) y Caliza (C)) los cuales se muestran en el sigueinte esquema (figura 4).

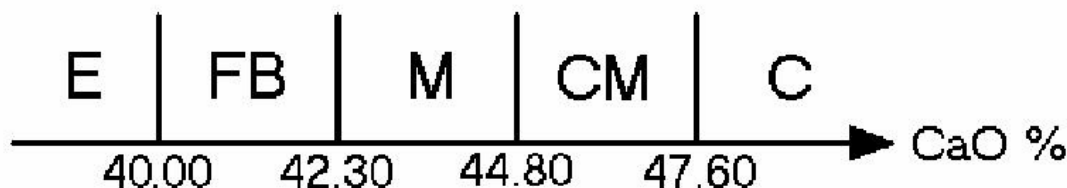


Figura 4: Valores de corte que define los tipos tecnológicos.

Se crearon cuatro variables indicatrices, a partir del formalismo de indicadores ya descrito. La variable a partir de la cual se crea los indicadores en nuestro caso es el CaO, y para el valor de corte se toman los valores que define los tipo tecnológicos, creando cuatro variables de indicadores, como se indica a continuación:

$$I_{Z \geq 40.00} = \begin{cases} 1 & Z \geq 40.00 \\ 0 & \text{Si no} \end{cases} \quad I_{Z \geq 42.30} = \begin{cases} 1 & Z \geq 42.30 \\ 0 & \text{Si no} \end{cases}$$

$$I_{Z \geq 44.80} = \begin{cases} 1 & Z \geq 44.80 \\ 0 & \text{Si no} \end{cases} \quad I_{Z \geq 47.60} = \begin{cases} 1 & Z \geq 47.60 \\ 0 & \text{Si no} \end{cases}$$

A cada una de la variables de indicadores anteriores se le realizó el análisis estructural. Los semivariogramas fueron calculados inicialmente en cuatro direcciones en el plano: 0°, 45°, 90° y 135°, además del omnidireccional, también fue calculado el semivariograma en la dirección vertical para completar el análisis de variabilidad en tres dimensiones. En los semivariogramas que se muestran en la figura 5 se representan las direcciones de mayor y menor continuidad en el plano, 0° y 45° respectivamente, así como el omnidireccional y el vertical. Posteriormente se ajustaron modelo teóricos a los semivariogramas experimentales.

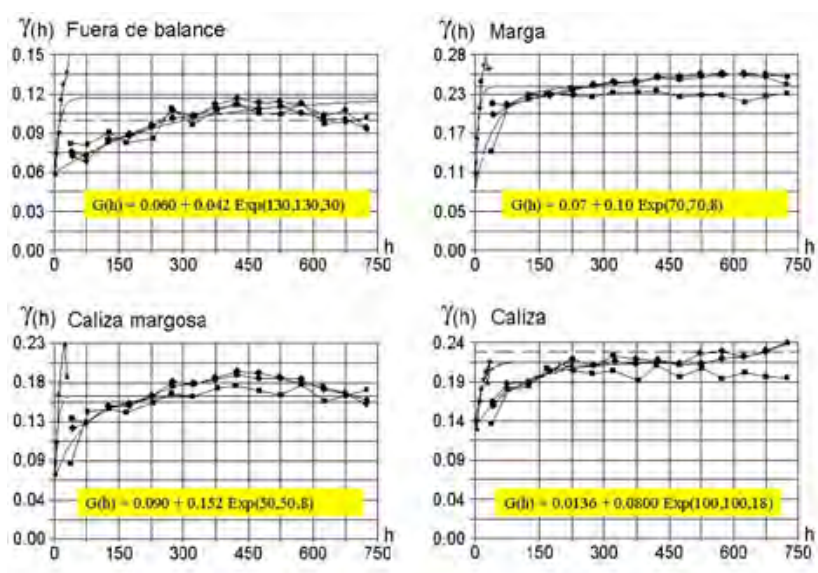


Figura 5: Semivariogramas de indicadores.



En los semivariogramas mostrados anteriormente se observan estructuras definidas y con similar comportamiento en todas las direcciones, es por este motivo que se considera el comportamiento isotrópico en el plano, para todas las variables indicatrices tratadas y finalmente un comportamiento anisotrópico entre el plano del yacimiento y la dirección vertical. Los modelos teóricos ajustados se muestran a continuación:

Indicatriz $I_{Z \geq 40.00}$	$G(h) = 0.060 + 0.042 \text{ Exp}(130,130,30)$
Indicatriz $I_{Z \geq 42.30}$	$G(h) = 0.07 + 0.10 \text{ Exp}(70,70,8)$
Indicatriz $I_{Z \geq 44.80}$	$G(h) = 0.090 + 0.152 \text{ Exp}(50,50,8)$
Indicatriz $I_{Z \geq 47.60}$	$G(h) = 0.0136 + 0.0800 \text{ Exp}(100,100,18)$

Donde Exp representa el modelo exponencial.

### Estimación por KI

Los métodos de estimación espacial, incluyendo el Krigeaje, tienden a suavizar la variabilidad espacial real de la ley al pasar de una litología o mineralización a otra. La única forma de eliminar esta deficiencia es restringiendo el proceso de estimación al volumen que ocupa el dominio o unidad geológica o sea aplicar discriminación poblacional o control geológico a la estimación (Tulcanaza, 1999, Houlding, 1994).

Como no es posible en este caso concreto crear un modelo tecnológico del yacimiento y realizar la estimación de forma independiente dentro de cada unidad o dominio geológico, se optó por emplear KI, el cual para cada uno de cutoff seleccionados emplea un modelo de variograma diferente, logrando separar y usar en la estimación la estructura espacial de las distintas partes de la distribución. El elipsoide de búsqueda utilizado para la estimación fue de 550.0, 550.0 y 30.0 m en las direcciones X, Y y Z respectivamente. Para la estimación de cada elemento por bloque se utilizó, como mínimo 2 y un máximo de 16 muestras dentro del volumen de búsqueda. Esto garantiza la inexistencia en la estimación de ponderaciones negativas. Se obtiene de esta forma la probabilidad de ocurrencia de los tipos tecnológicos en bloques de 40 x 40 x 15 m., para cada variable de indicadores.

### Corrección de Orden

Antes de estimar del contenido de CaO en cada uno de los bloques a partir de la probabilidad de ocurrencia de los tipos tecnológicos y el valor medio de la variable para cada tipo, se procedió a chequear que las proporciones estimadas para cada ley de corte cumpliera con los requerimientos de relación de orden anteriormente descritos.

Cada una de las incongruencias detectadas fue corregida siguiendo la metodología propuesta por Issaks y Srivastava (1999). Fue necesario hacer correcciones al 20 % de los bloques donde se realizaron estimaciones por cada valor de corte, lo cual no es significativo (Issaks y Srivastava, 1999). Posteriormente se estimó el contenido de CaO en cada uno de los bloques y atendiendo al valor se clasificaron en tipos tecnológicos.

La figura 6 muestra un perfil del modelo de bloque con orientación norte – sur, donde se muestra el CaO estimado por KI, y el tipo tecnológico a que pertenece. Las estimaciones obtenidas han permitido clasificar a los bloques en una categoría tecnológica determinada,





aunque la estimación se ha realizado en un soporte o volumen  $40 \times 40 \times 15 \text{ m}^3$  que provoca una suavización de la variable estimada se observa la variabilidad espacial de los distintos tipos tecnológicos.



Figura 6: Perfil del modelo de bloques.

## DISCUSIÓN

El modelo de bloque que contiene la información del tipo tecnológico y la variación espacial del CaO fue validado empleando los procedimientos siguientes:

- Comparación visual del contenido de CaO en el modelo de bloque y en los valores regularizados en los pozos. Para realizar la comparación el modelo fue cortado en perfiles y planos de nivel. Existe buena correspondencia entre los valores de CaO en el modelo y en los pozos.
- Comparación de los valores medios del CaO en el modelo de bloque y en los pozos de perforación. La tabla III muestra que las diferencias estimadas no son significativas, el valor máximo reportado es de 2.70 %



Tabla III Resultado de la comparación del contenido medio de CaO en los compositos de 5 m y en el modelo de bloque.

Variable	Valor medio de los compósitos de 5m (%)	Valor medio en el modelo de bloque	Diferencia estimada (%)
CaO_yacimiento	45.96	44.72	2.70
CaO_Caliza	50.42	49.26	2.30
CaO_Caliza margosa	46.13	46.12	0.02
CaO_Margas	43.62	43.61	0.02

Normalmente para validar el modelo de recursos también se emplea un método alternativo de estimación, en este caso, se descarto la posibilidad de emplear el Inverso de la Distancia y el Krigeaje Ordinario, pues su aplicación sin control geológico hace imposible comparar los resultados.

## CONCLUSIONES

Existen yacimientos en los que se hace imposible definir el Modelo Geológico debido a la alta variabilidad espacial de los parámetros geológico – industriales. En los mismos no se pueden emplear métodos tradicionales de correlación geológica y se hace necesario la búsqueda de alternativas para su modelación.

El estudio variográfico del CaO combinado con el análisis de toda la información geológica del yacimiento corroboró la gran variabilidad tecnológica del mismo y la dificultad de generar un modelo geológico por método tradicional que pueda ser usado para restringir la estimación en el modelo de recursos.

Los resultados obtenidos demuestran que el KI es una solución eficiente para la modelación tecnológica y de recursos en yacimientos de materia prima para cemento donde se manifiesta una alta variabilidad tecnológica provocada por los frecuentes cambios faciales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Annels, A. E. y Al-Hassan, S., 1994. Mineral Resource Evaluation II, Methods and cases histories. Geological Society Special Publication No.79:157-169.
- Arseneau, G. J y Roscoe, W. E., 2000. Practical Applications of Geology to Resource/Reserve Estimation, Canada. Mining Millennium.
- Chica-Olmo, M., 1987. Análisis Geoestadístico en el Estudio de la Exploración de los Recursos Minerales, Tesis Doctoral, Departamento de Gedinámica, Universidad de Granada: 387 p.
- Deutsch, C. V. & Journel, A. G., 1998. GSLIB Geoestadistical Software Library and User's Guide", Oxford University Press, New York.
- Glacken, I. M. y Blackney, P. C. J., 1998. A practitioners implementation of indicator kriging, The Geostatistical Association of Australasia, "Beyond Ordinary Kriging" Seminar, October 30th, 1998 Perth, Western Australia: 12 p.
- Goovaerts, P., 1998. Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Oxford University Press, New York.
- Houlding, S. W., 1994. 3D Geoscience Modelling. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Hong Kong: 309 p.



- Issaks, E., y Srivastava, R.M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics, (USA): Oxford University Press, 561 p.
- Journel, A.G., 1983. Non-parametric estimation of spatial distribution. International Association for Mathematical Geology Journal (USA), 15: 445-468.
- Lemmer, I.C., 1984. Estimating local recoverable reserves via IK, in Geostatistics for Natural Resources Characterization (eds G. Verly et al.) Reidal, Dordrecht: 349-364,.
- Martínez, M. H., Pérez-Acosta, J., Felipe-Reyes, J., Torres, J., y Pereda, O. 2001. Informe, Recalculo de reservas del yacimiento Pastelillo, 32 p.
- Owens, O, y Armstrong, W.P., 1993. Ores Reserves- The Four Cs, Exploration Mining Geology (USA): 2 (1): 49-52.
- Popoff, C.C., 1966. Computing reserves of Mineral deposits: principles and conventional methods. Washintong: Bureau of Mines, 113 p.
- Tulcanaza, E., 1999. Evaluación de Recursos y Negocios Mineros, Chile: Instituto de Ingenieros de Deutsch, C. V. & Journal Minas de Chile, en Impresos universitaria, S.A, 350 p.



## SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL DE OPERACIONES DE LA MINA DE NÍQUEL ERNESTO GUEVARA

Ing. Cesar Rosales Junco<sup>1</sup> Ing. Esperanza Díaz Vásquez<sup>2</sup>

(1) *Empresa Geominera de Oriente, Carretera de Siboney Km 21/2 Alturas de San Juan. Santiago de Cuba. Teléfono: (53-22) 641603, 643836. Fax: (53-22) 87130 e-mail crosales@geominera.co.cu*

(2) *Empresa Ernesto Guevara, Moa Holguín Teléfono (53-24) 62238 e-mail ediaz@eceg.moa.minbas.cu*

El desarrollo de la industria niquelífera cubana y de la Empresa Ernesto Guevara en particular demandó la automatización del control de la producción de las operaciones de la mina. Para esto la **Empresa Geominera Oriente** emprendió dicha tarea desde 1997 en que se instaló la versión 1.0.

El sistema realiza el control del cálculo de agotados, volúmenes de mineral minado, escombreado, tiempos de interrupciones y operaciones de la técnica minera, la explotación de los depósitos y consumos de energéticos, calidades del mineral minado, etc. y como resultado final mantiene una Base de Datos para los análisis y control de la mina en periodos de tiempos de hasta un año. Tiene una interfase gráfica para mostrar el estado de operación de la mina en tiempo real.





## DETERMINACION DEL ÁREA DE INUNDACIÓN AGUAS ABAJO DE UNA PRESA

Carlos Sacasas León <sup>(1)</sup>, Sandier Milanés Fuentes <sup>(2)</sup>

(1) Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127, Cujae, Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba CP 19390, FAX: (537) 267 2013, Tel. 266 3262, e-mail: csacasasl@yahoo.es

(2) Centro De Investigaciones Hidráulicas. Facultad de Ingeniería Civil. CUJAE

Los embalses cumplen una función social y económica de la mayor importancia. Sin embargo, el fallo de su cortina puede provocar en breves minutos una gran catástrofe en el territorio aguas abajo. Es por ello que es un interés priorizado conocer cual es el área posible de afectarse y por tanto conocer las poblaciones, carreteras y otras infraestructuras y objetivos económicos y sociales que sufrirán esos efectos.

Con vistas a establecer una metodología que permita realizar estos análisis fue tomado como ejemplo la presa Zaza que es la mayor del país. Con la información físico- geográfica del territorio y los datos técnicos correspondientes de dicha obra, se diseñó y confeccionó un Sistema de Información Geográfica que posibilitó evaluar la situación y realizar el análisis para diferentes situaciones operativas. La evaluación del caso tomado como ejemplo posibilita dar criterios ajustados respecto al procedimiento a seguir para evaluar situaciones similares en otros embalses.





# EL CATASTRO INGENIERO GEOLÓGICO Y GEOAMBIENTAL DE LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO, UNA HERRAMIENTA NOVEDOSA EN LA GESTIÓN DE INFORMACIÓN GEOREFERENCIADA.

**Julio Cabrera Bermúdez <sup>(1)</sup>**

*(1) Universidad de Pinar del Río, Calle Martí # 270, CP. 20100 . Cuba.*

## RESUMEN

Paralelamente con el importante desarrollo conceptual que la geografía ha tenido en las últimas décadas, como consecuencia de su concurrencia con otras ramas del saber, han aparecido también importantes contribuciones técnicas vinculadas con el análisis de los procesos espaciales. Estas con distinto grado de éxito en sus aplicaciones se han convertido en herramientas muy útiles a la hora de obtener mayor precisión en los análisis geográficos. La expresión más conocida de estos intentos lo constituyen, sin dudas, los Sistemas de Información Geográfica (SIG), una herramienta tan exitosa y difundida como limitada. Los SIG, son herramientas cada vez más utilizadas en los procesos de planificación económica, territorial y ambiental. La evaluación geoambiental es una de las primeras etapas del planeamiento ambiental y del ordenamiento territorial. Hoy es casi imposible imaginar un plano de gestión ambiental, de factibilidad constructiva o de monitoreo ambiental, en cualquier escala, sin la utilización de la zonificación geoambiental. Una metodología para este fin y aplicada con éxitos en la provincia de Pinar del Río, en la que se aplica un modelo conceptual que expresa en términos generales una evaluación teórica de los factores y/o condiciones a tomar en cuenta en la evaluación de las Condiciones geoambientales con especial énfasis en las ingeniero-geológicas, es propuesta en este trabajo.

## ABSTRACT

Jointly with the important conceptual development that the geography has had in the last decades, as consequence of its concurrence with other sciences, important technical taxes linked with the analysis of the space processes have also appeared. These with different degree of success in their applications have become very useful tools when obtaining bigger precision in the geographical analyses. The good known expression of these intents constitutes it, without doubts, the of Geographical Information Systems (GIS), such a successful tool and diffused as limited. The GIS, are tools more and more used in the economic, territorial and environmental processes planning. The environmental evaluation is one of the first stages of the environmental planning and territorial classification. Today is almost impossible to imagine a plane of environmental administration, of constructive feasibility or of environmental monitoreo, in any scale, without the use of the environmental zonification. A methodology for this and applied with successes in the Pinar del Río Province, where is applied a conceptual model that expresses in general terms a theoretical evaluation of the factors and/or conditions to take into account in the environmental conditions evaluation, with special emphasis in the engineer-geologic, is proposed in this work.

## Introducción

En el presente trabajo se reflejan las experiencias adquiridas por el autor en el diseño confección e implantación de un Sistema de Información Geográfico, destinado a la gestión de información ingeniero geológica y geoambiental en los territorios.

Esta investigación estuvo encaminada a establecer una metodología para la evaluación de las condiciones geoambientales naturales (con especial énfasis en las ingeniero geológicas y ambientales) de los territorios en plataforma SIG y su validación en la provincia de Pinar del Río, utilizando para ello todos aquellos factores que permiten determinar las condiciones y potencialidades ambientales de los mismos.



La metodología consta de cuatro etapas a través de las cuales se establecen los procedimientos para la implantación de un SIG, orientado a la evaluación de las condiciones geoambientales de los territorios.

Sobre la base de estos procedimientos fue confeccionado un SIG de la provincia Pinar del Río, dirigido fundamentalmente a la cartografía y gestión de información geográfica, urbana regional, geológica, de recursos naturales y ambiental, entre otros posibles campos de aplicaciones.

## Materiales y métodos

En la realización del presente trabajo se utilizaron materiales obtenidos durante un largo período de recopilación de información básica en empresas e instituciones tales como: ENIA # 1, INRH Pinar del Río, GeoCuba La Habana, Empresa Geominera de Occidente y Estadística provincia Pinar del Río, entre otras, documentación de información actualizada sobre el tema a escala internacional, así como una profunda preparación de dicho autor en las técnicas de cartografía digital y SIG.

El trabajo parte de considerar un modelo conceptual que expresa en términos generales, una evaluación teórica de los factores y/o condiciones a tomar en cuenta, en la evaluación de las Condiciones ingeniero-geológicas (CIG) de los territorios. Se establecen criterios, definiciones y consideraciones de como tomarlos en cuenta en función de su nivel de importancia. Se crea un modelo estructurado que refleja los pasos a seguir para la solución del problema. En la **figura 1** se expresa la secuencia lógica de trabajo seguida, partiendo de la derivación e integración de los factores involucrados, definiéndose a su vez los resultados cartográficos a obtener con cada acción.

La metodología resultante permite evaluar integralmente las condiciones ingeniero-geológicas y ambientales de los territorios, mediante el análisis e interpretación de los principales factores naturales y tecnológicos condicionantes del medio físico, con el auxilio de las técnicas de cartografía digital y SIG, expresado a través del Catastro Ingeniero-geológico y ambiental (CtIG). Este termino, el autor, con aplicación al estudio de las condiciones ingeniero-geológicas lo define como: *el inventario general de las Condiciones ingeniero-geológicas (CIG), expresado por todos aquellos mapas cuyos contenidos reflejan en alguna medida las condiciones naturales del terreno*. Dentro del catastro se incluyen todos aquellos mapas, ya sean de carácter geológico o no, que en un momento dado son necesarios consultar para poder evaluar una situación geológica o ambiental determinada.

## Resultados y Discusión

### Modelo teórico de diseño del CtIG

El modelo utilizado expresa en términos generales, una evaluación teórica de los factores y/o condiciones a tomar en cuenta, en la evaluación de las Condiciones Ingeniero Geológicas (CIG) de los territorios. Se establecen criterios, definiciones y consideraciones de como tomarlos en cuenta en función de su nivel de importancia. Se parte de la derivación e integración de los factores involucrados, definiéndose a su vez los resultados cartográficos a obtener con cada acción. El análisis parte de considerar que la evaluación de las CIG esta en función de la influencia que ejercen sobre el medio, las condiciones naturales y la infraestructura económica.



Se consideran **factores económicos** (Infraestructura económica), aquellos que son el resultado de las actividades humanas modificadoras del medio ambiente (obras civiles e industriales, actividades agrícola o mineras y otras formas de uso y ocupación del suelo). Estas actividades comúnmente son reconocidas como procesos tecnológicos (Fornasari, 1992).

Estos factores, en la mayoría de los casos aparecen como elementos cartográficos de los mapas topográficos. En función de la importancia de los factores para la evaluación de las condiciones ingeniero geológicas y la comodidad de su manipulación, pudieran agruparse por temas, los que a su vez pueden ser discretizados por capas de información.

Los **factores naturales** comprenden aquellos factores que determinan las condiciones de realización de las investigaciones y sirven como criterios o indicios de búsqueda para evaluar las condiciones ingeniero geológicas. Entre los principales factores a tomar en cuenta para su evaluación según Kolomenski (1984) están:

Clima.

Relieve y condiciones geomorfológicas.

Condiciones tectónicas y de estratificación.

Particularidades litólogo-petrográficas de las rocas.

Condiciones hidrogeológicas.

Fenómenos fisico-geológicos.

Dentro de ellos, en la realización del presente trabajo, se utilizaron el clima, el relieve, la litología y las aguas subterráneas.

### Procedimiento metodológico

En función de la concepción de las variables involucradas en el problema y de la modelación de los fenómenos físicos, han sido utilizadas a escala internacional diversas metodologías. Una descripción de las más empleadas pueden encontrarse en Anon (1972), Varnes (1974), IAEG(1976), Dearmam y Matula (1976), Dearmam y Eyles (1982), Dearman y Strachan (1983) y Zuquette (1987, 1993).

El procedimiento seguido en este trabajo se fundamenta en una serie de derivaciones e integraciones informáticas de factores naturales y de infraestructura económica, cuyas representaciones cartográficas reflejan el comportamiento de los elementos principales (geomorfología, hidrogeología, y condiciones ingeniero-geológicas).

Con el análisis conjunto de esos elementos, se obtienen los mapas morfoestructurales, ingeniero-geológicos e hidrogeológicos que, al ser combinados, dan como resultado el mapa de regionalización ingeniero-geológica.

El dossier de mapas bases utilizados y obtenidos a partir de la aplicación del modelo conceptual, ha sido recogido por este autor bajo la denominación de **Catastro ingeniero-geológico (CtiG)**. El método adoptado no se basa en la representación cartográfica de trabajos de levantamientos ingeniero-geológicos, ni la captura en formato digital de mapas analógicos existentes y sí en la obtención de una serie de mapas a partir de la reclasificación y superposición de dos mapas temáticos básicos, mapa topográfico y geológico (figura 2).

En la metodología se abordan aspectos conceptuales muy importantes en el diseño de un SIG, entre los que se destacan: Infraestructura para la automatización, Demandas para la automatización, Recursos tecnológicos, Equipamientos, Control de la calidad y la Presentación de los resultados. Se incluye además el proceso tecnológico (figura 3) a seguir en la automatización de la cartografía



ingeniero-geológica: actividades y resultados. Este proceso es factible de aplicar para cualquier trabajo de cartografía digital y confección de proyectos SIG

La metodología propuesta es fácilmente aplicable a la solución de problemas relacionados con el manejo territorial en general; de hecho, ya se introduce en el manejo ambiental y la rama de la salud en el municipio Pinar del Río. Esta metodología es aplicable a cualquier territorio independientemente del software que se utilice.

Constituye la primera aplicación de los SIG al manejo de información geológica y ambiental en el territorio, involucrando una gran diversidad de capas informativas de interés no solo para las Ciencias de la Tierra.

Al CtlG obtenido se le pueden dar múltiples aplicaciones entre las que se pueden mencionar.

1. Estudios medioambientales.
2. Evaluación de recursos naturales.
3. Apoyo a la realización de planes y proyectos como herramienta de cálculo y diseño.
4. Investigaciones científicas.
5. Informatización del mapa histórico territorial.
6. Gestión municipal.
7. Planeamiento urbano.

Este producto brinda la posibilidad a las entidades encargadas de la planificación territorial de contar con un grupo de mapas donde se expresan claramente las condiciones constructivas y geoambientales de este territorio, incluyendo los parámetros que caracterizan a las propiedades físico-mecánicas y acuíferas de las rocas y suelos para todo el territorio.

A las empresas que se dedican a realizar investigaciones ingeniero-geológicas, les brinda la posibilidad de planificar más racionalmente los trabajos de exploración, sobre una base ingeniero-geológica mas refinada e interactiva entre el usuario y el producto que se le ofrece.

Finalmente el CtlG, por su diversidad de capas y campos informativos puede ser utilizado por una gran cantidad de empresas y esferas de la producción, tanto para tareas de planificación, toma de decisiones o simplemente compilación de información georreferenciada.

## Conclusiones

El diseño del modelo conceptual, la metodología propuesta y su aplicación al territorio de Pinar del Río, nos ha permitido arribar a las siguientes conclusiones.

1. La evaluación de las CIG se logra examinando de conjunto aquellos **factores económicos y naturales** que determinan las condiciones de realización de las investigaciones. Dentro de los factores naturales más importantes a tomar en cuenta en la evaluación de las CIG están: **clima, relieve, geología y aguas subterráneas**.
2. La metodología para la creación del CtlG en plataforma SIG, en la cual se contempla la acción conjunta de los factores naturales y socioeconómicos, aborda el problema a partir de la utilización de los mapas temáticos básicos (topográfico y geológico). Se fundamenta en una serie de derivaciones e integraciones de esos factores, cuyas representaciones cartográficas reflejan el



comportamiento geológico y ambiental del territorio. Consta de 3 etapas básicas:  
**Formulación, Análisis y Gestión.**

3. La utilización de la clasificación ingeniero-geológica taxonómica consecutiva, que toma en cuenta las diferencias genéticas, el grado de alteración tectónica y el comportamiento ingeniero-geológico de las secuencias rocosas, permite la delimitación de las diferentes unidades morfoestructurales, hidrogeológicas e ingeniero-geológicas del territorio.
4. El mapa morfoestructural dividió el territorio en dos grandes pisos estructurales: Basamento y Cobertura. Ambos constituidos por cuatro unidades morfotectónicas y doce regiones morfoestructurales básicas.
5. El territorio fue dividido en 6 grandes estructuras hidrogeológicas (3 escalones artesianos y 3 cuencas artesianas), a partir de las cuales se pudo evaluar la influencia de las aguas subterráneas en las condiciones geológicas naturales del territorio.
6. Con la aplicación del modelo se obtuvo el mapa de regionalización ingeniero-geológica, a partir de la confluencia de los factores geomorfológicos, hidrogeológicos e ingeniero-geológicos. Sus unidades taxonómicas para el territorio comprenden: Dos regiones, ocho subregiones y un número considerable de provincias de diferentes órdenes, zonas y áreas.
7. Dentro de los resultados de las consultas realizadas al CtlG se obtuvieron los mapas de factibilidad constructiva del territorio, de susceptibilidad a la erosión y de potencial ambiental, que expresan desde diferentes ángulos la efectividad, eficiencia, eficacia y potencialidades de este producto en la gestión de información geológica y ambiental en la provincia de Pinar del Río.

## Bibliografía

- Anon., 1972. The preparation of maps and plans in terms of eng. geology. Q. J. L. Eng. Geol., p. 293-381
- Dearman, W. R. y MATUL, A. M., 1976. Environmental aspects of engineering geological mapping. Bull. IAE, Krefeld, n.14, pp. 141-146.
- Dearman, W. R. y Eyles, N., 1982. An engineering geological map of the soils and rocks of the United Kingdom. Bull. IAE, Paris, n.25, pp.3-18.
- Dearman, W. R. y Strachan, A., 1983. Engineering geological plans of Tyne and Wear County, N.E. England. Bull. IAE, Paris, n.28, pp. 31-41.
- Fornasari, F. N., 1992. Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo: IPT. 165p. (IPT. Publicação, 1972; Boletim, 61).
- International Association of the Engineering Geology - IAE., 1976. Engineering geological maps: a guide to their preparation. Paris: Unesco Press. 79p.
- Kolomenski, N.V., 1984. Metodología General de Investigaciones Ingeniero-Geológicas. Nedra. Moscú. URSS.
- Varnes, D. J., 1974. The logic of engineering geological and related maps. A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering. Washington: USGS. 48p. (Professional Paper 837)
- Zuquette, L.V., 1987. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. Tese (Doutorado) EESC/USP, São Carlos. 4v.
- Zuquette, L.V., 1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. Tese (Livre-Docência) EESC/USP, São Carlos. 2v.

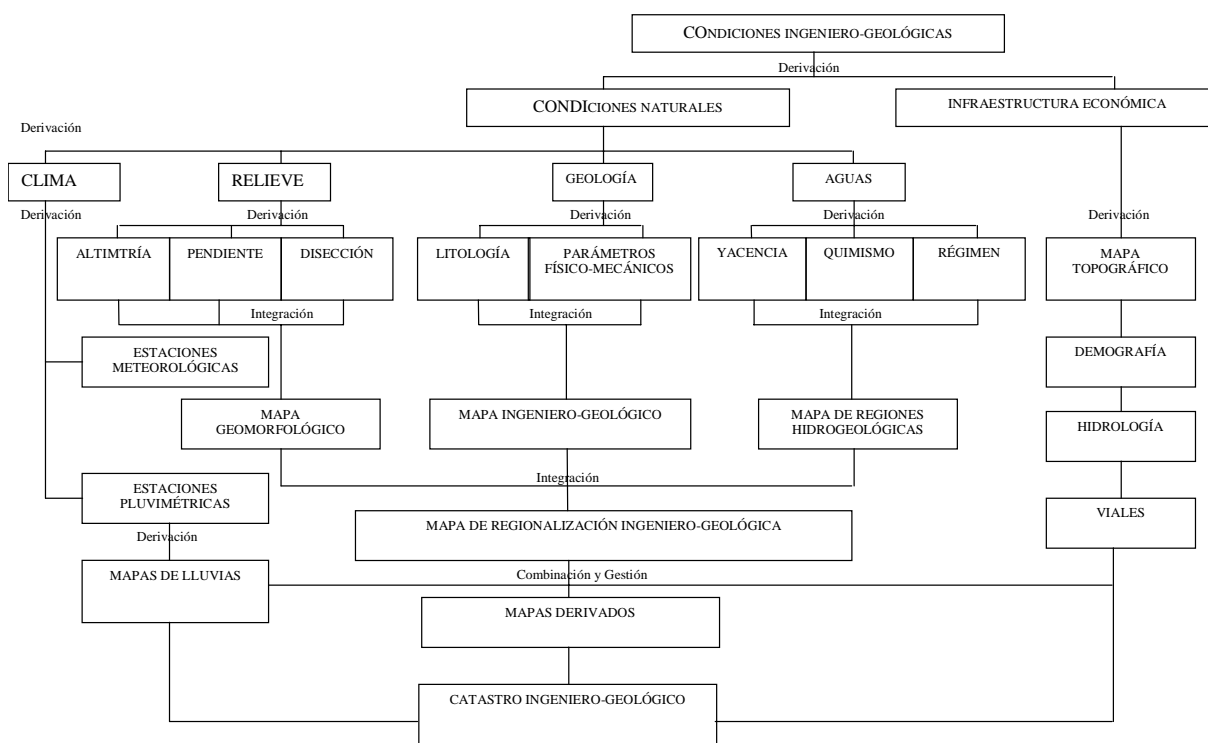
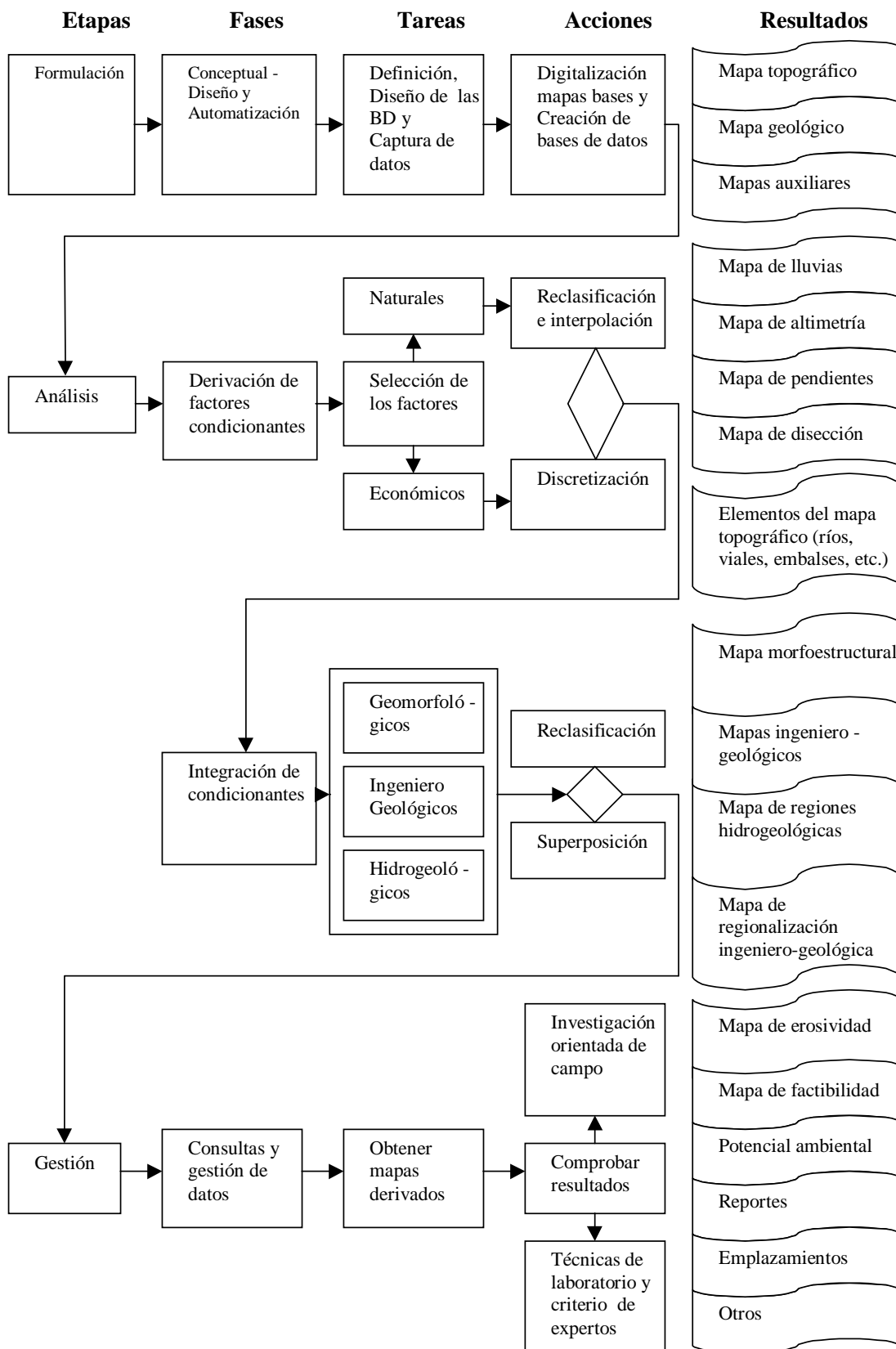


Figura 1. Modelo conceptual.





PRIMERA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS 2005.  
**Figura 2.** Esquema metodológico para la evaluación de las CIG.  
Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.



## UTILIZACIÓN DE LOS MODELOS DE EXPLORACIÓN MINERAL Y LOS SIG EN LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RECURSOS MINERALES NIQUELIFEROS, MACIZO DE CAJALBANA, CUBA

**Jesús Moreira Martínez<sup>(1)</sup>, Jesús M. López Kramer<sup>(2)</sup> y Roniel Martín<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup>Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril S/N, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, C. E mail: [moreira@igp.minbas.cu](mailto:moreira@igp.minbas.cu)

<sup>(2)</sup>GeoMinera SA, Calle 13 No.16 entre 1era y 3era, Guanabacoa, Ciudad de La Habana, Cuba, C. E mail: [kramer@igeominerasa.minbas.cu](mailto:kramer@igeominerasa.minbas.cu)

<sup>(3)</sup>Empresa GeoMinera Pinar del Río, Calle Martí No. 141, Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba, C. E mail: [ronielmartin@yahoo.es](mailto:ronielmartin@yahoo.es)

### RESUMEN

La evaluación del potencial mineral es una actividad de etapas múltiples, con el objetivo de delimitar zonas mineralizadas que puedan ser explotadas bajo determinadas condiciones económicas, por lo que constituye una tarea de importancia primordial en la estrategia para el desarrollo de los recursos minerales de un país. Se utilizan los modelos conceptuales de exploración mineral y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas clave para la cartografía del potencial mineral de una forma rápida, barata y sencilla. Se implementan los criterios proporcionados por el modelo de exploración para la clasificación del potencial para depósitos tipo lateritas-saprolitas níquelíferas en el macizo de Cajalbana en la provincia de Pinar del Río. Los principales datos espaciales introducidos al SIG lo constituyen el mapa geológico, el mapa topográfico y los datos geoquímicos resultantes del muestreo de afloramientos. El procesamiento de estos mapas conllevó a la obtención de mapas derivados, los cuales fueron utilizados como indicadores del potencial para este tipo de depósito. Las variables indicadoras fueron integradas a través de un esquema de clasificación simple utilizando el método de superposición indexada de mapas binarios con igual peso. Los resultados indican un potencial alto y muy alto con un nivel de certeza C en el 58% del área investigada. Finalmente se valida el mapa de potencial obtenido al compararlo con sectores conocidos con anterioridad con recursos níquelíferos evaluados y con los resultados geoquímicos de muestras de afloramientos.

### ABSTRACT

Mineral potential mapping is a multi-stage activity with the objective of delineating mineralized zones that can be exploited under prevailing economic conditions. Because of that constitutes an important task in the strategy for the development of the mineral resources of a country. In this paper, the application of conceptual mineral exploration models and Geographic Information Systems (GIS) as tools key to generate mineral potential maps in a rapid, cheap and simple way is illustrated. The criteria provided by a conceptual exploration model to classify the nickeliferous potential for laterites-saprolites type of deposits by using a GIS is implemented in the Cajalbana Massif, Pinar del Río province. The main spatial data inputs to the GIS are geological map data, topographic map data, and geochemical data resulting from rocks sampling. Processing of this data yields derivative maps, which are used as indicators of nickeliferous potential of laterites - saprolites type of deposits. The indicator maps then are integrated by mean of a simple classification scheme using the index overlay method assigning equal weights to the binary maps. The results indicate a high and very potential for laterites - saprolites type of deposits in the 58% of the investigated area. Finally, comparing with known sectors where nickeliferous mineral resources are evaluated and with the results of rocks geochemical sampling the obtained potential map is validated.



## INTRODUCCION

La evaluación del potencial mineral es una actividad que se realiza en varias etapas, con el objetivo de delimitar zonas mineralizadas que puedan ser explotadas bajo determinadas condiciones económicas. De forma ideal, en cada etapa son usadas bases de datos multi-variadas y de diversas fuentes que son utilizadas para guiar las fases siguientes de clasificación del potencial mineral.

En regiones donde no se han llevado a cabo programas sistemáticos de búsqueda de minerales es importante desarrollar metodologías alternativas para la evaluación de su potencial mineral, que permitan al país trazar la política más racional para el uso de sus recursos naturales.

Tomando como base que la geología y la topografía constituyen datos espaciales que son indicadores relevantes para el potencial mineral de ciertos tipos de depósitos y que se encuentran disponibles para la mayoría del territorio, sería inconveniente desaprovechar su uso. La incorporación de estos datos en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica (SIG) auxiliados por los criterios de exploración proporcionados por los modelos conceptuales de exploración mineral constituyen una base formidable para la obtención de información de una forma rápida, barata y confiable sobre el potencial mineral de una región.

En el presente artículo se ilustra la aplicación de un modelo conceptual de exploración mineral para depósitos de tipo lateritas-saprolitas niquelíferas en un ambiente SIG para reevaluar el potencial niquelífero del macizo de Cajalbana, en el occidente de Cuba, a la luz de los conocimientos actuales y la compilación de toda la información de archivo existente. En el trabajo solo se evaluó el potencial para el modelo de lateritas-saprolitas niquelíferas coincidentes con el área que abarcan las rocas peridotíticas del macizo, según el mapa a escala 1:100 000 confeccionado por el I.G.P (García et al., 2003)

Las operaciones SIG se realizaron en tres etapas: entrada de datos espaciales, procesamiento e integración. El mapa geológico y topográfico y la tabla con puntos de muestreo geoquímico de afloramientos constituyen los datos espaciales básicos de entrada al sistema. El procesamiento de los datos se lleva a cabo para extraer los mapas derivados indicadores del potencial de lateritas-saprolitas niquelíferas.

Un esquema de clasificación, a través del cual las variables indicadoras son integradas a través de un modelo simple de superposición indexada sin peso de mapas binarios es utilizado. Finalmente el mapa de potencial para lateritas-saprolitas niquelíferas se compara con los sectores conocidos con anterioridad con recursos niquelíferos evaluados y con los resultados geoquímicos de muestras de afloramientos para su validación.

## MATERIALES Y METODOS

### Area de Estudio

El área de estudio se encuentra situada administrativamente en la provincia de Pinar del Río, a unos 100 Km. al Oeste de Ciudad de la Habana y a 70 Km. de la capital provincial, en las cercanías de la ciudad de Bahía Honda (Figura 1). La misma abarca la plancheta topográfica número 3584 – III (Cajalbana) a escala 1:50 000.

El Macizo de Cajalbana ocupa un área de aproximadamente 55 km<sup>2</sup> y según los datos geofísicos (Maximov et al., 1978) su estructura corresponde a una placa de 1.5 Km. de espesor, con una composición heterogénea, según las propiedades magnéticas.

Su composición corresponde a una mezcla de harzburgitas serpentinizadas con partes más frescas de harzburgitas, incluyéndose fragmentos de lherzolitas, dunitas y piroxenitas con diferente grado de serpentinización, así como procesos de intemperización y lateritización que



afectan a todo el macizo. Abundan las serpentinitas crisotílicas y se han descrito pequeños fragmentos de dunitas con mineralización cromítica (Maximov et al., 1978).

En las rocas de este complejo se observan intensas dislocaciones disyuntivas, en menor grado plicativas, debido a los fuertes movimientos tectónicos que originaron primeramente su elevación a la superficie y posteriormente su desplazamiento junto con las rocas encajantes (García et al., 2003).

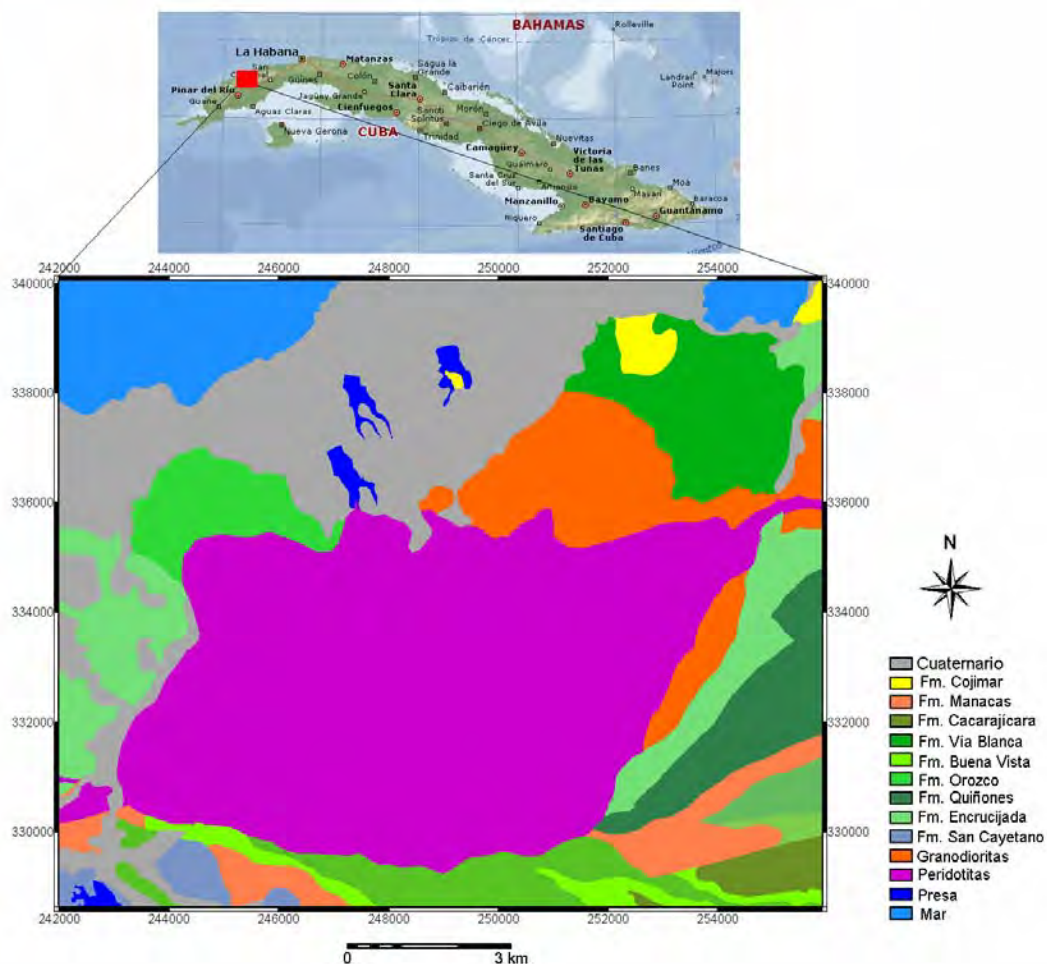


Figura 1. Mapa de localización y geológico del área de estudio (modificado de García et al., 2003).

## Trabajos Previos

Los primeros trabajos para la búsqueda de níquel en el macizo de Cajalbana fueron realizados por la compañía norteamericana Cuban Iron Company, (1939-1943) los cuales abarcaron solo la parte occidental del área de desarrollo de las cortezas de intemperismo *in situ*, así como sus redepósitos al Norte. Las investigaciones fueron realizadas mediante pozos criollos de acuerdo a una red de 400x400, los cuales no atravesaron todo el corte laterítico. Estos trabajos permitieron delimitar 8 bloques con presencia de menas níquelíferas (Figura 8).

Ogarkov (1969) tomando como base estos trabajos realizó un cálculo de recursos para lateritas y saprolitas níquelíferas en 4 bloques principales, obteniendo como resultado 20.5 MT. de menas níquelíferas, con un espesor y contenido promedio de 3.36 m y 1.31% de Ni. Un



incremento de 12.8 MT con contenidos de Ni de 1.25% fue pronosticado por Carmona (1995) a partir de la extrapolación de estos datos, trayendo consigo que los recursos ascendieran a 33 MT de mena, existiendo aún lateritas no estudiadas en el macizo. Como resultado de este trabajo se reveló la presencia de contenidos anómalos de Au (Pozo 1; 2.5 m con 2.445 g/t) en las menas niquelíferas (Figura 8 y 9). Martín et al. (1998) basándose en este resultado realizó estudios de reconocimiento para metales preciosos en el macizo de Cajalbana y sus alrededores, contribuyendo al mejoramiento de la base geológica, sin detectar mineralización de interés para níquel según los datos de las columnas de los pozos perforados.

Otras investigaciones relacionadas con minerales ferruginosos para su uso en la industria metalúrgica o como corrector de cemento (Yujvit et al., 1966; Gómez et al., 1988) se han llevado a cabo en la región, las cuales se han limitado al estudio de la parte superior del corte laterítico con altos contenidos de hierro (zona de los ocre inestructurales) y sus redepósitos de la zona de exocontacto del macizo de Cajalbana.

### **Modelos de Depósitos de Lateritas Niquelíferas**

Una descripción general de los depósitos niquelíferos lateríticos es dada por Golightly (1979, 1981). Tres modelos geológicos básicos de depósitos minerales lateríticos: laterítico (propriadamente dicho, sin saprolitas), laterítico-saprolítico (con laterita y saprolita) y sedimentarios litorales producto de la erosión y sedimentación del material de la corteza de intemperismo en un medio acuático (marino o lagunar) son descritos para los depósitos lateríticos del oriente cubano (Lavaut, 2002; Lavaut et al., 2002a; 2002b; Lavaut, 2003). La condición principal para el desarrollo del perfil de intemperismo lo constituye la presencia de rocas del complejo peridotítico (Cobas y Despaigne, 2003). El níquel es proporcionado por la lixiviación del olivino fosterítico, el cual contiene cerca de 0.3% de níquel y la serpentina, la cual se deriva de la alteración hidrotermal del olivino antes del intemperismo. La topografía, la cual es el resultado de la historia geomorfológica de la región también juega un rol muy importante en los procesos de formación de cortezas de intemperismo y enriquecimiento en níquel durante el intemperismo en condiciones tropicales, siendo necesario un relieve lo suficientemente elevado como para permitir una adecuada transferencia de las aguas y al mismo tiempo lo suficientemente aplanado para permitir la conservación de los productos del intemperismo (Formell, 1982). De forma general el enriquecimiento en níquel ocurre a lo largo de las pendientes inmediatamente debajo de los bordes de la meseta (Figura 2). El principal rasgo controlador es el descenso del nivel del agua en el borde de la meseta, el cual propicia la circulación de las aguas meteóricas hacia abajo a través de la saprolita. Un nivel de agua alto en cualquier parte de la meseta inhibe el enriquecimiento en níquel. La erosión puede remover la saprolita enriquecida del frente convexo del borde de la meseta. La pendiente que limita la formación de la saprolita enriquecida para continuar adelante con la erosión es de aproximadamente 20°.

Tomando como base la importancia económica de los depósitos de tipo lateritas-saprolitas niquelíferas, así como la pertenencia a esta clase de los depósitos conocidos en el macizo de Cajalbana según los trabajos anteriores, se evalúa el potencial para este modelo, sin descartar la presencia e importancia de los depósitos sedimentarios litorales (redepositados) al Norte de la región donde han sido evaluados alrededor de 10 Millones de toneladas de mena con 0.8 - 1% de níquel, los cuales se destacan claramente desde las imágenes del Landsat ETM<sup>+</sup>.



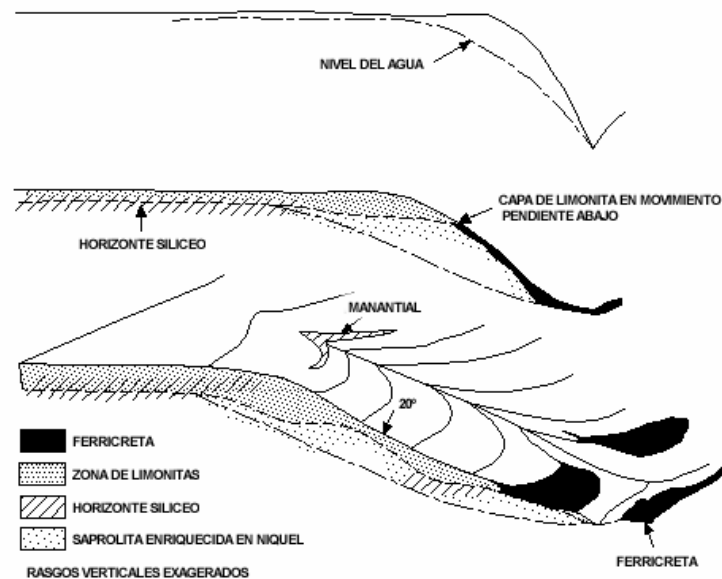


Figura 2. Secuencia idealizada para la formación de lateritas niquelíferas en los bordes de mesetas sobre rocas peridotíticas (tomado de Golightly, 1979).

Basado en el modelo (Golightly, 1979; 1981; Formell, 1982; Lavaut, 2002; Lavaut et al., 2002a; 2002b; Lavaut, 2003 y Cobas y Despaigne, 2003), los indicadores tomados para el potencial de lateritas-saprolitas niquelíferas son: (1) presencia de rocas peridotíticas, (2) presencia decortezas de intemperismo, (3) presencia de bordes de meseta y (4) pendientes topográficas entre 3° y 20°. Teniendo en cuenta que los indicadores anteriores tienen un contexto espacial, un SIG constituye una herramienta eficaz para la clasificación del potencial para lateritas-saprolitas niquelíferas.

### **Clasificación del Potencial para Depósitos de Tipo Laterítico-Saprolíticos Niquelíferos**

La Figura 3 muestra la metodología utilizada en la clasificación del potencial para lateritas-saprolitas niquelíferas en la región. La misma fue implementada en ILWIS 3.2 Academic (Integrated Land and Water Information System), un software SIG desarrollado por el ITC (International Institute for Geo-information Science and Earth Observation) en Enschede, Holanda.

### **Entrada Espacial de Datos**

Las principales fuentes de datos espaciales utilizadas lo constituyen el mapa geológico a escala 1:100 000 (García et al., 2002), y el mapa topográfico a escala 1:100 000 (GeoCuba, 2002) de las planchetas La Palma y San Cristóbal, provincia Pinar del Río, ambos obtenidos en formato digital vectorial. Los límites geológicos se convirtieron de formato vectorial (polígonos) a raster. Las curvas de nivel a intervalos de 20 m fueron convertidas de formato vectorial (segmentos) a raster. El mapa raster de curvas de nivel fue interpolado para obtener el modelo de elevación digital (MED) del área de estudio (Figura 4).



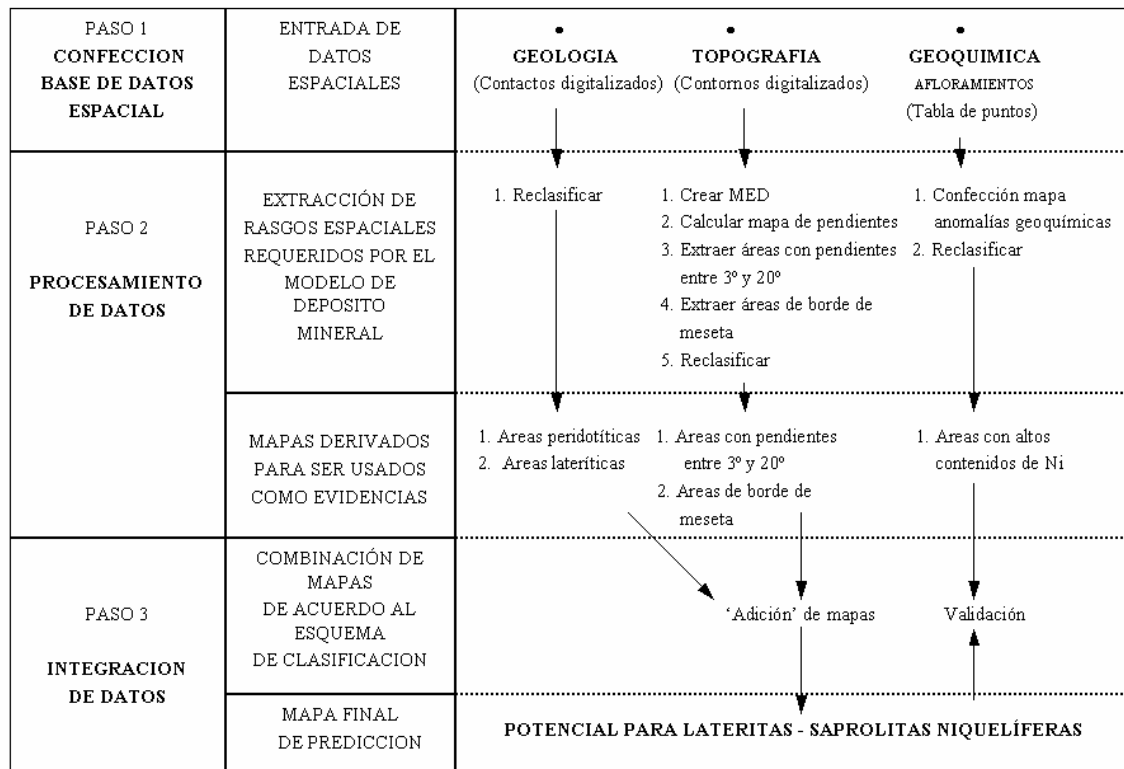


Figura 3. Diagrama de flujo utilizado en la clasificación del potencial para depósitos de tipo lateritas-saprolitas níquelíferas basado en un SIG (modificado de Bonham-Carter, 1994 y Carranza et al., 1999).

Un subconjunto de datos para níquel resultado del muestreo geoquímico de afloramientos (Martín et al., 1998) fue utilizado para determinar que partes del macizo están enriquecidas en níquel. Teniendo en cuenta que se hizo el muestreo con mayor detalle en la porción noroeste del macizo, con menor densidad en el flanco sur y que la porción noreste quedó prácticamente sin muestrear, estos resultados solo fueron utilizados con fines de la validación del mapa de potencial para lateritas-saprolitas níquelíferas obtenido. El subconjunto de 85 resultados analíticos fue tabulado, una fila por muestra, con columnas conteniendo información espacial y no espacial. La ubicación espacial de las muestras fue realizada en el Sistema de Coordenadas Lambert Cuba Norte como (x,y); los contenidos de níquel (en ppm) fueron representados como atributos.

## Procesamiento de Datos Espaciales

El procesamiento de los datos espaciales constituye el segundo paso para extraer las variables indicadoras requeridas por el modelo de lateritas-saprolitas níquelíferas para la clasificación del potencial. El mapa geológico (Figura 1) fue reclasificado en dos unidades geológicas, peridotitas y no peridotitas (Figura 5A). Este mapa reclasificado es utilizado para enmascarar las zonas no cubiertas por rocas peridotíticas antes de la extracción de áreas con indicadores topográficos y geoquímicos favorables.

Las áreas con desarrollo de lateritas (Figura 5 D) fueron extraídas de Mormill et al. (1980) y Barrios (1996).

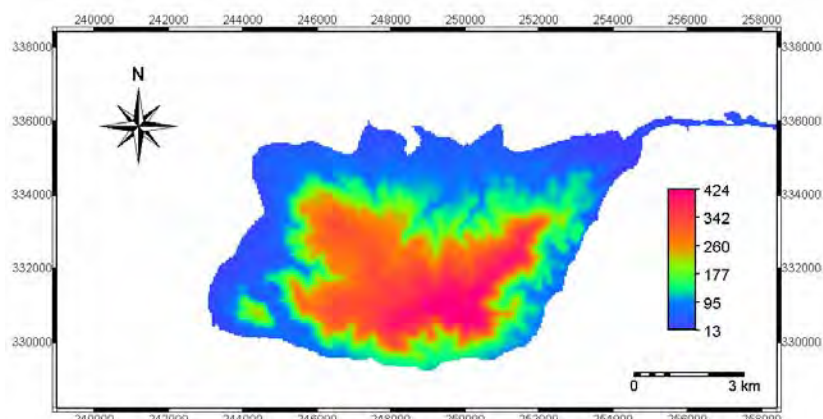


Figura 4. Modelo de elevación digital del área de estudio.

Los indicadores topográficos utilizados en la clasificación del potencial son dos, pendientes y bordes de meseta. Para extraer las zonas con pendientes favorables (entre  $3^\circ$  y  $20^\circ$ ) filtros de gradiente vertical y horizontal fueron aplicados al MED (ITC-ILWIS). Como resultado fue confeccionado un mapa de pendientes, el cual fue reclasificado en dos unidades, áreas con pendientes entre  $3^\circ$  y  $20^\circ$  y áreas con pendientes mayores que  $20^\circ$  o menores que  $3^\circ$  (Figura 5 B). Las zonas favorables para la formación de lateritas saprolitas níquelíferas (áreas de bordes de meseta) fueron extraídas a partir de un análisis detallado del MED. Los rangos de elevación donde ocurren las mesetas y los borde de meseta fue estimado gráficamente a través de un análisis del histograma de los píxeles del MED en el terreno peridotítico. Según Carranza et al. (1999) en áreas ocupadas por una unidad de rocas simple, las distancias entre las curvas de nivel son mas o menos uniformes, por lo que los "pasos" en el histograma de los rangos de elevación también son más o menos uniformes, por lo que variaciones en la amplitud de los mismos indican la presencia de superficies de erosión en el paisaje, tales como mesetas o cambios de pendientes. Teniendo esto en cuenta, es posible definir de forma aproximada los rangos de elevaciones donde ocurren los bordes de meseta si dibujamos una línea que conecte los pasos del histograma del MED del terreno peridotítico (Figura 6). Los segmentos largos rectos indican rangos de elevaciones que resultan de una larga historia de peniplanación (ej. presencia de mesetas). Los segmentos cortos indican rangos de elevaciones que resultan de interrupciones en los eventos de peniplanación (ej. presencia de bordes de meseta). Tres segmentos largos que representan rangos de elevación de mesetas (0-80, 80-200, 320-460) y cuatro segmentos cortos que representan rangos de elevación donde es posible la presencia de bordes de meseta (120-160, 200-240, 240-280, 280-320) están presentes en el área. Las zonas dentro del terreno peridotítico con rangos de elevación de 120-160 y 200-320 fueron extraídas del MED y son representadas en la Figura 5 C.

Del mapa geoquímico de níquel de muestras de afloramientos fueron extraídos aquellos puntos con valores por encima del Clark (2000 ppm en rocas ultrabásicas). El mismo representa puntos con una geoquímica superficial favorable, que representa un enriquecimiento en níquel en el ambiente superficial. Este mapa fue utilizado en la validación de los resultados del mapa de potencial resultante por lo explicado anteriormente.

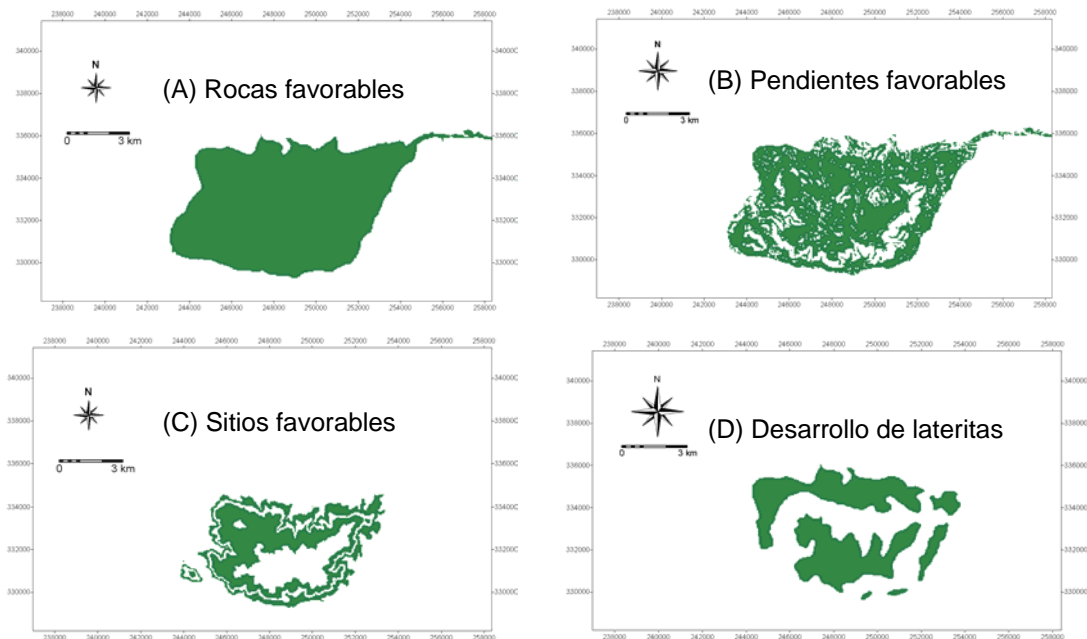


Figura 5. Capas de datos usados en la clasificación del potencial para lateritas-saprolitas níquelíferas: A, Terreno peridotítico; B, áreas con pendientes entre 3° y 20° en el terreno peridotítico; C, áreas de bordes de meseta en el terreno peridotítico y D, áreas de desarrollo de lateritas

## Integración de Datos Espaciales

Constituyó el tercer paso para integrar todos los mapas indicadores y clasificar el potencial para lateritas-saprolitas níquelíferas en el macizo. Fue implementado un esquema de clasificación cualitativo simple como se muestra en la Figura 7 (Carranza et al, 1999). Si es ausente un indicador geológico favorable (ej. peridotitas), entonces no hay potencial para lateritas-saprolitas níquelíferas (0). Si hay presencia de peridotitas, pero los restantes indicadores están ausentes, entonces el potencial es bajo (1). Si cualquiera de los tres restantes indicadores están presentes dentro del terreno peridotítico, entonces el potencial es moderado (2). Si dos indicadores cualquiera de los tres favorables están presentes dentro de las peridotitas entonces el potencial es alto (3). Si todos los indicadores favorables están presentes dentro de las peridotitas, entonces el potencial es muy alto (4). Este esquema simple se implementó creando mapas binarios que indican presencia (valor = 1) o ausencia (valor = 0) de cada uno de las variables indicadoras (Figura 5). Finalmente, todos los mapas binarios de evidencia indicadoras fueron adicionados.

## RESULTADOS

El número total de píxeles representado por el macizo de Cajalbana es 21 813, equivalente a 54,53 km<sup>2</sup> (un tamaño de píxel de 50 x 50 m fue utilizado en las operaciones SIG). Aproximadamente un 7 % del terreno ocupado por el macizo tiene un potencial bajo para lateritas-saprolitas níquelíferas, alrededor de un 35 % tiene potencial moderado, 49 % tiene potencial alto, y alrededor de un 9 % tiene potencial muy alto (Figura 8).

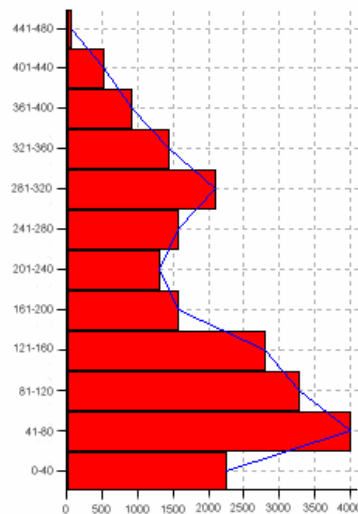


Figura 6. Histograma de los valores de los píxeles (elevaciones) en el MED del terreno peridotítico

La confiabilidad del mapa final clasificado que representa el potencial para lateritas-saprolitas níquelíferas (certeza C) es validada al comparar este mapa resultante con los sectores conocidos en el macizo donde ocurren lateritas-saprolitas níquelíferas delimitados para la Compañía Cuban Iron Company en los años 1939-1943 (Figura 8), los datos del muestreo geoquímico superficial de afloramientos (Martín et al, 1998) y los pozos realizados por la Empresa GeoMinera Pinar del Río (Carmona, 1995) que confirman la presencia de níquel. Se obtiene como resultado que más del 90 % del área ocupada por los sectores anteriormente definidos se corresponden con zonas de potencial alto y muy alto; de 56 muestras de afloramientos tomadas dentro del macizo 39 tienen contenidos por encima del Clark (2000 ppm) y de estas, 25 están ubicadas espacialmente en zonas de potencial alto y muy alto; así como todos los pozos con contenidos significativos de níquel se encuentran espacialmente ubicados en estas dos zonas. Todo lo anteriormente planteado indica la confiabilidad de la clasificación a la escala realizada.

Una evaluación cuantitativa estimada del potencial de recursos hipotéticos extrapolando los datos reales de los trabajos anteriores en una variante conservadora asumiendo que el 40 % del área posible de potencial alto y muy alto se encuentra mineralizada resulta en 25.6 Millones de toneladas de menas lateríticas con un espesor promedio de 2.0 m y contenido promedio de 1.1 % y 19.2 Millones de toneladas de menas saprolíticas con un espesor promedio de 1.5 m y contenido promedio de níquel de 1.2 %. Lo que representa recursos hipotéticos totales de 44.8 Millones de toneladas de mena.

## CONCLUSIONES

El potencial para lateritas-saprolitas níquelíferas en el macizo de Cajálbana, en la provincia de Pinar del Río no ha sido completamente evaluado. Se requieren de trabajos de reconocimiento e investigación geológica a una escala mayor que permitan una mayor confiabilidad en la evaluación. Esto sería lo ideal, pero requiere de recursos que no se encuentran disponibles. Esta constituye una metodología alternativa para la clasificación del potencial de lateritas-saprolitas níquelíferas de una forma barata, rápida y sencilla donde las variables indicadoras proporcionadas por los modelos conceptuales de exploración son integradas en un SIG, fundamentalmente variables geológicas y topográficas.

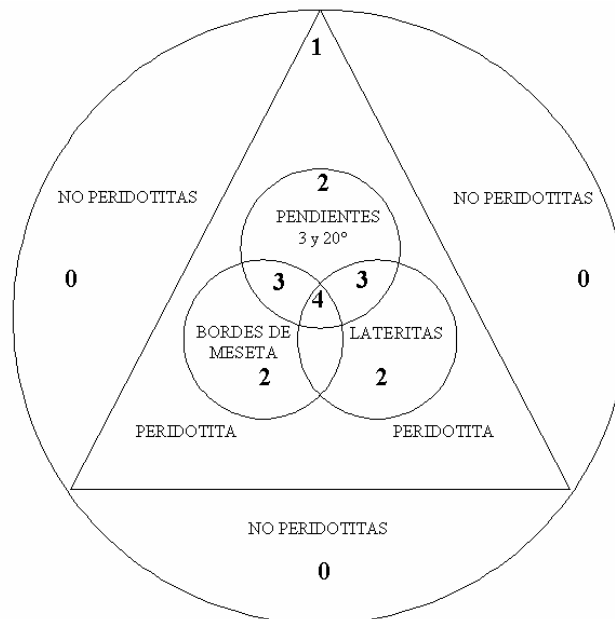


Figura 7. Esquema para la clasificación del potencial para depósitos de tipo lateritas-saprolitas níquelíferas. 0 = no potencial; 1 = potencial bajo; 2 = potencial moderado; 3 = potencial alto; 4 = potencial muy alto (modificado de Carranza et al. 1999).

Los resultados indican que el esquema de clasificación adoptado es eficiente pero sensitiva a las variables indicadoras utilizadas. Esto se debe a que los criterios derivados del modelo conceptual de exploración mineral constituye principalmente una generalización de los depósitos níquelíferos de Cuba oriental y otras regiones del mundo, (los cuales no difieren sustancialmente) y no del macizo de Cajalbana en particular. Es necesario entonces como parte de trabajos más detallados determinar la contribución y significado de las diferentes variables indicadoras teniendo en cuenta la información que se obtenga de los depósitos minerales níquelíferos dentro del área de estudio en cuestión, información que en estos momentos no se encuentra disponible. Esto permitiría aproximarnos a un modelo más preciso y ajustado al caso Cajalbana teniendo en cuenta aspectos tan importantes como los fenómenos erosivos en la fase tardía de evolución del macizo y pendientes reales, que en este caso se ha limitado a 20°. Para el macizo de Cajalbana el esquema de clasificación indica que al menos el 58 % del terreno que abarca las rocas peridotíticas tiene potencial alto y muy alto para la ocurrencia de depósitos lateríticos-saprolíticos. Los sectores conocidos por trabajos pretéritos son clasificados correctamente por la metodología como de potencial alto a muy alto por lo que el mapa resultante es confiable. También avalado por los resultados de la geoquímica superficial de afloramientos y los pozos de comprobación realizados. Una variante conservadora estima un potencial de recursos hipotéticos totales de 44.8 millones de toneladas de menas lateríticas y saprolíticas.

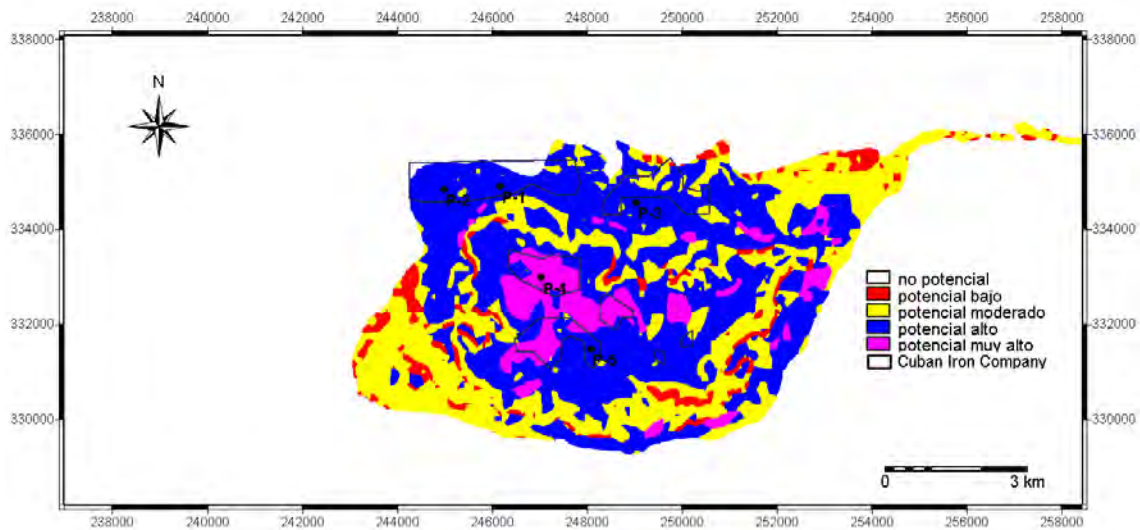


Figura 8. Mapa clasificado para el potencial de lateritas-saprolitas níquelíferas.

La información resultante depende fundamentalmente de la correcta selección de los parámetros geológicos con un mínimo de inferencia estadística, proporcionando de esta forma una base realística para la toma de decisiones por parte del sector GeoMinero.

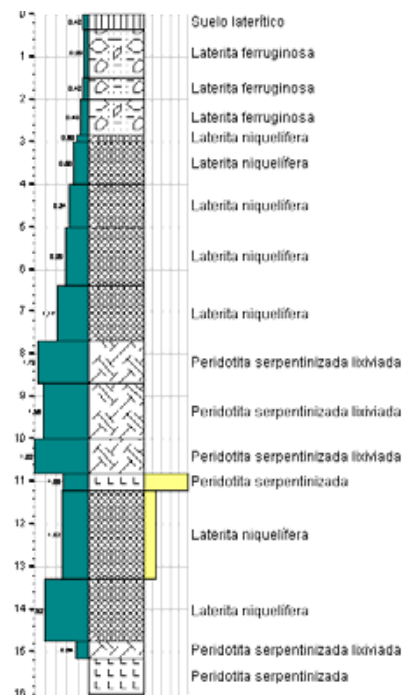


Figura 9. Columna Pozo 1. Las barras de la izquierda (verde) representan los contenidos de níquel, las de la derecha (amarillo) contenidos de oro. Confeccionado a partir de los datos de Carmona (1995).

Importancia especial se le debe dar a la presencia de oro en las menas níquelíferas, así como posibles platinoides, los cuales pueden ser obtenidos como subproductos.





Un esquema de clasificación similar puede ser modificado y aplicado en otros ambientes teniendo en cuenta el tipo y número de criterios proporcionados por el modelo conceptual de exploración para el tipo de depósito que se busca. Se recomienda la utilización de otros modelos de integración como la superposición indexada de mapas multicapas, lógica difusa y red neural.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las discusiones de trabajo sostenidas con el Dr. Carbeny Capote, cuyas observaciones e ideas han sido fuentes de estimulación. Las revisiones detalladas del manuscrito y sugerencias aportadas por Valls (Jaguar Nickel Inc), Carlos Arturo (BHP) y Angel Vázquez han contribuido de forma inapreciable al mejoramiento del mismo. A todos, la gratitud de los autores.

## REFERENCIAS

- Barrios, E. (1996): Tarea Proyecto: Reconocimiento geológico de metales preciosos (Au-Ag) en el macizo de Cajalbana y sus alrededores, (sectores Agustina, El Buren y Yagruma). IGP, MINBAS, La Habana.
- Carmona, A (1995): Recalculo de los recursos y reconocimiento de lateritas niquelíferas del macizo de Cajalbana. EGMPR, Pinar del Río, inédito.
- Carranza, E. J. C., J. C. Mangaoang and M. Hale (1999): Application of Mineral Exploration Models and GIS to Generate Mineral Potential Maps as Input for Optimum Land-Use Planning in the Philippines. Natural Resources research, Vol. 8, No. 2, p. 165-173.
- Cobas Botey, R. M., y N. Despaigne Bueno (2003): Yacimientos Niquelíferos del Norte Oriental Cubano. Caracterización Geológica. Memorias GEOMIN 2003, La Habana, 24-28 de Marzo, p. TGMNI 1-5, ISBN 959-7117-11-8.
- Formell, F. (1982): Relación entre el relieve y las cortezas de intemperismo del Nordeste de Oriente, Cuba. IGP, MINBAS, La Habana.
- García, D., S.Gil, R.Delgado, G.Millan, L.L.Peñalver, M.Cabrera, R.Denis, J.L.Chang, M.Fuentes, C.Díaz, V.Suárez, A.I.Llanes, R.Pérez, M.Torres, C.Pérez, L.Díaz (2003): Generalización y actualización geológica de la provincia de Pinar del Río. IGP,Inédito.
- GeoCuba, (2002): Planchetas topográficas San Cristóbal y La Palma, escala 1:100 000.
- Golightly, J. P. (1976): Nickeliferous laterites: a general description. Evans, D. J. T., Shoemaker, R. S., and Veltman, H., eds. In International Laterite Symposium, Soc. Min. Engrs., Am. Inst. Min. Met. Petr., Inc., New York. p. 3-23.
- Golightly, J. P. (1981): Nickeliferous laterite deposits. Economic Geology 75 th Anniversary Vol. p. 710-735.
- Gómez, O., R. Stout et al. (1988): Informe sobre los trabajos de búsqueda orientativa y detallada a escala 1:10 000 para corrector de Fe para la producción de cemento "La Mulata". O.N.R.M., MINBAS, La Habana, inédito.
- ITC-ILWIS Department. ILWIS 3.0 Academic (2001): User's guide. International Institute for Aerospace survey and Earth Sciences (ITC), 530 p.
- Lavaut, W. (2002): Modelo descriptivo de depósitos Fe-Ni-Co sedimentarios litorales. Trabajo final curso de postgrado "Modelos de depósitos minerales", EGMO, Santiago de Cuba.
- Lavaut, W., H. Barrabi Díaz y R. Rodríguez (2002a): Modelo descriptivo de depósitos Fe-Ni-Co lateríticos. Trabajo final curso de postgrado "Modelos de depósitos minerales", EGMO, Santiago de Cuba.
- Lavaut, W., P. S. Bergues Garrido y M. Labrada García (2002b): Modelo descriptivo de depósitos Fe-Ni-Co lateríticos saprolíticos. Trabajo final curso de postgrado "Modelos de depósitos minerales", EGMO, Santiago de Cuba.
- Lavaut, W. (2003): La Meteorización de la Ofiolita de Cuba Oriental. Modelos Geológicos y Terminología Cubana. Memorias GEOMIN 2003, La Habana, 24-28 de Marzo, p. TGMNI 15-24, ISBN 959-7117-11-8.



- Martín, R. L., E. Barrios, R. Fernández de Lara y R. Barbón (1998): Reconocimiento geológico de metales preciosos (Au y Ag) en el macizo de Cajalbana y sus alrededores sectores Agustina, Burén y Yagruma. O.N.R.M., MINBAS, La Habana, inédito.
- Maximov, A. et al. (1978): Informe sobre los resultados de los trabajos complejos geológico-geofísicos a escala 1:50 000 en la zona Bahía Honda. O.N.R.M., MINBAS, La Habana, inédito.
- Mormill, A., y A.. Norman (1980): Geología y Metalogenia de la provincia de Pinar del Río. 2 tomos (Tema 5707), C.I.D.P., O.N.R.M., MINBAS, La Habana, inédito.
- Ogarkov, V. (1966): Sobre las menas de níquel de la corteza de intemperismo de la plataforma de Cajalbana (Yacimiento La Mulata). O.N.R.M., MINBAS, La Habana, inédito.
- Yujvit, V. Y., et al. (1966): Informe sobre los trabajos de exploración geológica sobre los minerales ferruginosos, efectuados en la provincia de Pinar de Río 1964-1965. O.N.R.M., MINBAS, La Habana, inédito.



# UNA APLICACIÓN DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS CUBANOS.

**Bárbaro Villavicencio García**

Centro de Investigaciones del Petróleo, [villavicencio@ceinpet.cupet.cu](mailto:villavicencio@ceinpet.cupet.cu)

## Resumen

Este trabajo trata sobre una aplicación de redes neuronales artificiales a registros geofísicos de pozos perforados para petróleo en Cuba.

Hasta ahora no puede emplearse ningún método estadístico tradicionalmente utilizado para tareas de predicción de curvas geofísicas de pozo porque el método estadístico que parece más adecuado, el análisis de regresión multivariada, no es capaz de predecir una curva de geofísica de pozos a partir de cualesquiera otras, ya que en cualquier caso debe suponerse una relación entre ellas que en la realidad actual permanece desconocida.

Sin embargo, las redes neuronales artificiales no exigen ninguna interrelación funcional y son de todas formas capaces en muchos casos de realizar aproximaciones funcionales.

En este caso se han empleado varios registros geofísicos para construir un patrón con el cual se pretende generar un pseudo registro geofísico inexistente.

El método de aplicación se ha centrado en el entrenamiento de una red con datos parciales de un pozo y analizar su rendimiento en el mismo y simular la red entrenada (patrón) con datos del mismo que no se emplearon en el entrenamiento para analizar primariamente su capacidad de generalización o eficacia, y esto se repite con datos de otros pozos

Comprobada una generalización aceptable entonces se unieron los datos de los pozos entrenados para constituir un patrón único a ser empleado en pozos nunca trabajados en esta primera fase y en los cuales no exista la curva generada.

This work tells about an application of artificial neural networks to oil geophysical well logs in Cuba.

## ABSTRACT

Up to now any statistical method cannot be used traditionally used for prediction tasks of geophysical curves of well, because the statistical method that seems more appropriate, the multivariate regression analysis, is not able to predict a curve of geophysics of wells from any other, since anyway a relationship should be supposed among them, which it remains in the current reality unknown.

However, the artificial neuronal networks don't demand any functional interrelation, and they are capable in many cases of carrying out functional approaches.

In this case several geophysical loggings of well have been used to build a pattern with which is sought to generate a pseudo nonexistent geophysical log.

The application method has been centered in the training of a net with partial data of a well and to analyze its results in the same one, and to simulate the trained net (pattern) with data of the same one that were not used in the training, to analyze primarily its generalization capacity or effectiveness; this is repeats with data of other wells.

Proven an acceptable generalization then the data of the wells trained was united to constitute a unique pattern to be used in wells never worked in this first phase, and in which the generated curve doesn't exist.



## Introducción

Los programas de registros geofísicos en un pozo tienen entre sus fines principales, generalmente, la obtención de la data primaria para la evaluación de las propiedades de los reservorios de hidrocarburos presentes en el corte del pozo.

El registro acústico, a pesar de ser de los primeros creados y empleados para estos fines, y no obstante el desarrollo tecnológico que han experimentado, ha ido cediendo lugar a otros métodos que han resultado en definitiva menos erráticos y cuya precisión ha ido in crescendo junto a la introducción de nuevos métodos para estos fines.

Por esta causa hay ocasiones en que este método no es solicitado por el geólogo de pozo, o tal vez porque el programa no se contempla para fines de evaluación de reservorios.

Sin embargo, suelen presentarse situaciones a posteriori en que con otros fines, por ejemplo estructurales, se impone la necesidad de curvas acústicas. Un caso común lo constituye el amarre de algún perfil de pozo con los datos de la prospección sísmica, circunstancia en la cual generalmente el registro más adecuado y apelado es precisamente esta curva Delta T. Y puede que paralelamente no merezca el objetivo trazado la inversión económica necesaria en la obtención del referido registro, quedando pues irresoluto el problema en tanto los valores de tiempo de recorrido no pueden ser estimados a partir de las otras curvas geofísicas de pozo, lo cual no deja lugar al empleo de métodos estadísticos para su inferencia.

He aquí que, con el desarrollo de las técnicas de redes neuronales artificiales (RNA), aparece la posibilidad de salvar este problema o similares muy acaecidos en la práctica, hecho avalado en numerosos trabajos reportados.

Las redes neuronales artificiales son técnicas relativamente nuevas aunque con un interés cada vez mayor en todas las disciplinas de las ciencias debido a su gran eficiencia y universalidad demostradas en los más diversos problemas.

Tienen su fundamentación inicial en la biología en los años '40 durante el nacimiento de o con los primeros trabajos en las nascentes disciplinas de la Inteligencia artificial, ocasión en que se establecieron los primeros modelos matemáticos de una neurona; tuvieron después un período de impasse hasta la década de los '80 en que resurgieron con fenomenal ímpetu alcanzando hoy un vertiginoso desarrollo entre otras causas por su característica no-lineal y su gran capacidad para el manejo de grandes cantidades de datos con disímiles procedencias.

Sus aplicaciones actuales van desde la clasificación de datos, estimación funcional, optimización y reconocimiento de patrones en la solución de problemas de la visión, la fonética, procesamiento de señales e imágenes en los más variados campos de la actividad social en la que, por supuesto, se enumera la actividad petrolera.

En este trabajo se muestra el resultado de una experiencia llevada a cabo con un modelo de RNA con fines predictivos mediante una aproximación funcional a un set de datos consistentes en los valores de varias curvas geofísicas de pozo.



## Materiales y métodos

Una definición suficientemente abarcadora de lo que es una red neuronal artificial es dada por Martín del Brío y Sanz Molina cuando expresan que: “Las redes neuronales artificiales son capaces de descubrir automáticamente relaciones de entrada-salida (o rasgos característicos) en función de datos empíricos, merced a su capacidad de aprendizaje a partir de ejemplos..... para lo cual emulan el hardware del cerebro”.

Las técnicas de RNA emplean algoritmos que pretenden reproducir el mecanismo de aprendizaje del cerebro, proceso que a apriorísticamente explicado se lleva a cabo mediante el intercambio de información entre las neuronas que lo componen, gracias a la interconexión que existe entre ellas.

Luego, vistas simplemente como procesadoras de información, interesa a nuestros propósitos actuales saber y considerar que el mecanismo de aprendizaje para una neurona se lleva a cabo mediante la entrada de la información a ella a través de ramificaciones llamadas dendritas (ver figura I), el procesamiento de la información

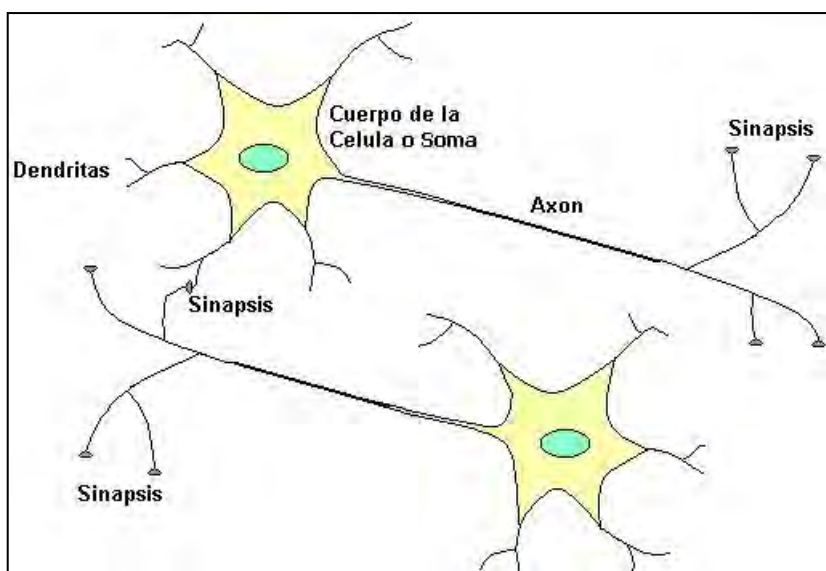


Fig. I Esquema de una neurona biológica.  
(tomado de Tutorial Redes Neuronales de la Universidad de Pereira)

que tiene lugar en el cuerpo de la neurona llamado soma y la transmisión de los resultados que se realiza a través de unos tubos o fibras tubulares llamados axones.

La forma en que se cumple este mecanismo escapa al objetivo de este trabajo, pero sí es obligatorio decir que la unión entre neuronas, específicamente el contacto entre cada axón con una dendrita, llamada *sinapsis*, tiene un potencial o intensidad ajustable, y que se cree sea esta cualidad o adaptabilidad la que esté, entre otras causas, a la base de lo que se conoce como aprendizaje, siendo por ende esta propiedad la que fundamenta una red neuronal artificial o sistema de ellas por cuanto la base matemática primordial la constituye el ajuste de las sinapsis entre las neuronas.



Para ello, la estructura de una neurona artificial viene dada por células procesadoras elementales (neuronas o nodos) agrupadas en niveles o capas interrelacionadas a través de ellas mismas; los nodos se encuentran unidos entre sí constituyendo la reproducción simplificada de las sinapsis en el cerebro.

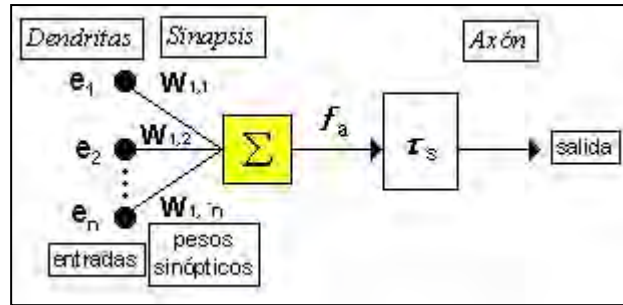


Fig. II Representación de una neurona artificial

De forma generalizada la estructura de una neurona artificial puede representarse como se ve en la figura II. Puede observarse que la neurona artificial es una gran simpleza frente a su similar biológica, sin embargo, en ambos esquemas se ve que están constituidas por elementos muy ramificados y que estas ramificaciones definen su funcionamiento.

El funcionamiento es como sigue: los valores  $e_i$  son aplicados a la neurona, esta información se combina con los valores de las sinapsis o *pesos sinápticos*  $W_{1,2}$  mediante una función  $\Sigma$  llamada *regla de propagación*, cuyo resultado es a su vez procesado por una llamada *función de transferencia o activación*  $f_a$ , que de esta forma determina si se activa o no la neurona, y luego otra función  $\tau_s$  de *salida* produce el valor que definitivamente se transmitirá a las neuronas siguientes.

En el esquema de figura II no se ha agregado una entrada adicional que se requiere para que este funcionamiento tenga lugar aún cuando los valores de las sinapsis sean nulos, el mismo se llama comúnmente *bias*, preferentemente, o *umbral* o *ganancia* y su valor es siempre la unidad.

La RNA en sí es una sucesión de agrupaciones de estas neuronas llamadas *capas*, de las cuales en una red pueden existir varias determinando así su *arquitectura*, y la forma en que se interconecten estas capas definirá el funcionamiento de la misma. De estas capas siempre habrá una de *entrada* constituida con las neuronas que reciben la información y otra de *salida* con aquéllas que la entregan más adelante; entre estas dos capas estarán las *ocultas*, conectada solamente con las anteriores. Una ilustración de una RNA muy sencilla viene en la figura III.

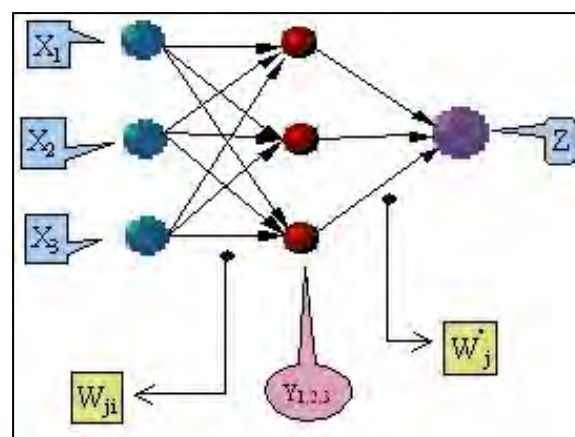


Fig.III Una red neuronal artificial de tres capas.





La arquitectura de la RNA mostrada es denominada 3-3-1 por tener tres neuronas en la capa de entrada (a la izquierda, esferas verdes), tres en la capa oculta al centro con las esferas rojas, y una solamente a la salida.

La complejidad y diversidad de estos sistemas ha llevado, y sigue llevando, a los conocedores de la materia, a una clasificación de las RNA de acuerdo a su arquitectura y a la forma en que realizan el aprendizaje. Como quiera que no es propósito de este trabajo el estudio de estos sistemas no se entrará en detalles, pero sí decir que en cualquier clasificación aparece una subdivisión –cuando no sean estas las principales- según la forma de aprendizaje en dos grupos: *supervisados* y *no supervisados*; entre los supervisados están los de *retropropagación*.

Se trata de una arquitectura en varias capas (*multi Layer*) que emplea un dispositivo de aprendizaje en el que los errores son propagados en sentido inverso, por eso se conocen así o más comúnmente como *backpropagation* o *BP*; estas redes son de las más empleadas en la práctica por su capacidad para predecir sin necesidad de estimadores, fácil implementación y haberse demostrado que son aproximadores universales de funciones. Una red *backpropagation* ha sido la empleada en este trabajo.

En la red BP las entradas  $X_i$  (ver Fig. III) se aplican, y tras procederse calculando las funciones de la regla de propagación y de transferencia, se espera que la salida obtenida sea lo más próximo al de la neurona  $Z$ , si no es tolerable la diferencia observada entonces se procede a ajustar los pesos sinápticos  $W_{ji}$  y  $W_j$  mediante la *propagación hacia atrás* de esa diferencia o error observado, es decir, distribuyendo el error entre todos los pesos; después se introduce un nuevo patrón pero los pesos habrán cambiado a aquellos reajustados. Esto es lo que se entiende como *entrenamiento* de la red, proceso que concluye hasta que el error alcanzado sea aceptable o llegue a un valor preestablecido, entonces se dice que la red ha *aprendido*. Pero se dan casos en que esto puede no suceder, es decir, que la red no converja.

La forma en que se calcula el error, en que se retropropaga por las capas ocultas, en que se actualizan los pesos, incluye el uso de técnicas de derivación desde las más simples hasta las más complejas, y eso ha dado lugar a todo un andamiaje teórico en pos de rapidez de entrenamiento, eficacia de la red y uso de memoria en tiempo real tal que las variantes del método BP son hoy muy variadas sobre un mismo objetivo y no se discutirán aquí, donde se experimentó el algoritmo de Levenberg-Marquardt

En este trabajo se tomaron para la capa de entrada los valores de las curvas del Laterolog tanto la somera *LLS* como la profunda *LLD*, del potencial espontáneo *SP*, densidad-gamma *RHBO*, porosidad-neutrónica *PHIN* y gamma natural *CGR* y en la capa de salida se pusieron los del registro acústico de tiempo *DT*.

Se experimentó no sólo variando la arquitectura de la red, el número de neuronas en la capa oculta, sino también el de la capa de entrada, incluso se trató de observar la diferencia entre una forma de preprocesar los datos estandarizándolos en diferentes formas, es decir, normalizándolos en el intervalo  $[-1, 1]$  o con media nula y desviación estándar la unidad.



Para esto se aprovechó la existencia de un sistema como MatLab en versión 6 que tiene buen desarrollo de herramientas para trabajar redes neuronales artificiales, pero la preparación de los datos más objetos gráficos y su estadística inicial se hicieron con macros confeccionadas en Visual Basic de Excel.

## Resultados y discusión

Los resultados de los entrenamientos variaron de una circunstancia a otra, pero al menos en este caso no es posible trazar una estadística al respecto.

Los datos para crear una muestra de entrenamiento se escogieron a lo largo de la curva de forma aleatoria, pero no puntualmente sino en intervalos de 5 puntos para simular lo que se sería un espesor de capa mínimo;

Asimismo se empleó para entrenar una técnica de entrenamiento llamada *cross validation* (validación cruzada) mediante la cual un grupo de patrones se tomó para entrenar y el resto para comprobar el rendimiento en cada pase, en este caso se entrenó con 50% y posteriormente con 80% de los patrones, pero los resultados no difieren de forma tal que pueda siempre concluirse en que haya sido mejor una u otra cantidad.

Esto se debe a que las correlaciones entre los valores generados con los reales se mantienen alrededor de 0.7, salvo casos peores en que se obtuvo resultados obviamente inaceptables debido al mal diseño de la red y selección de los parámetros de entrenamiento.

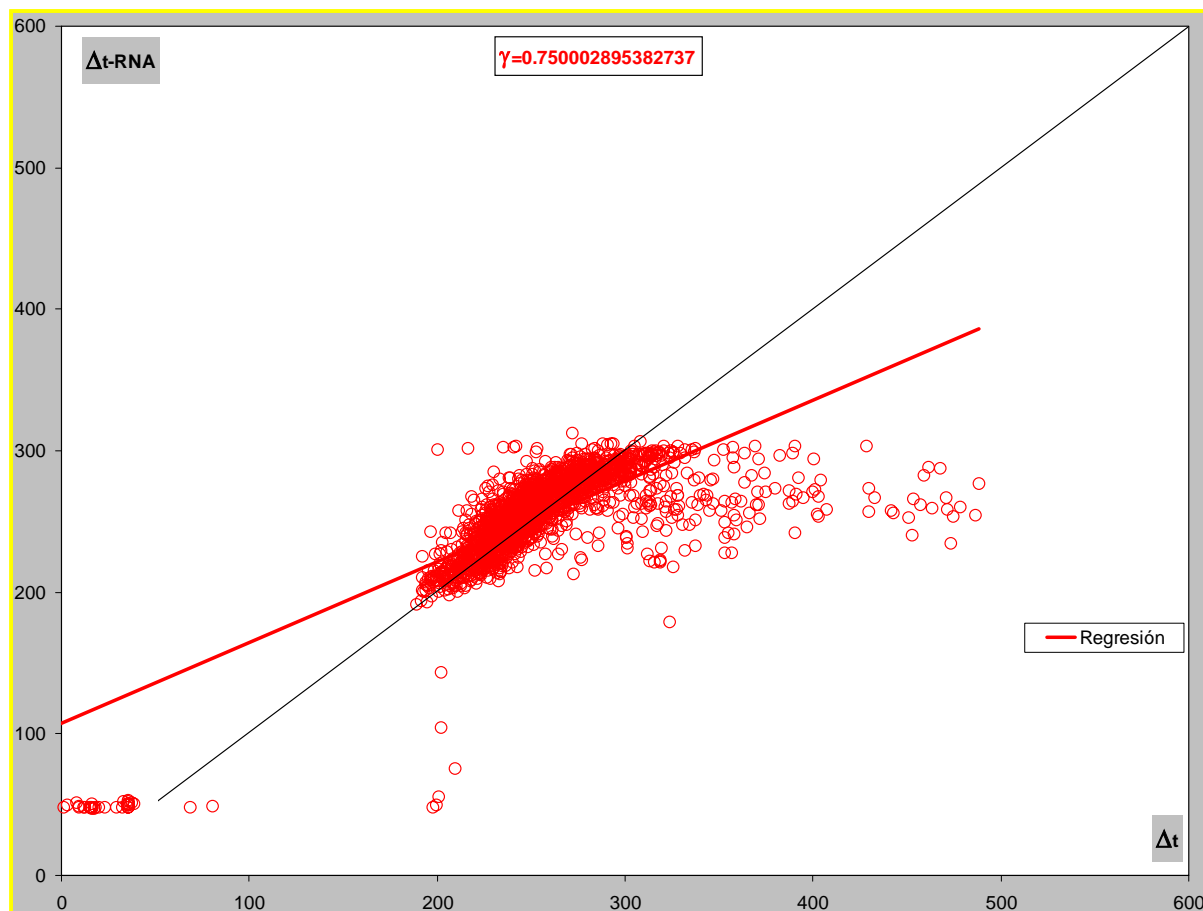
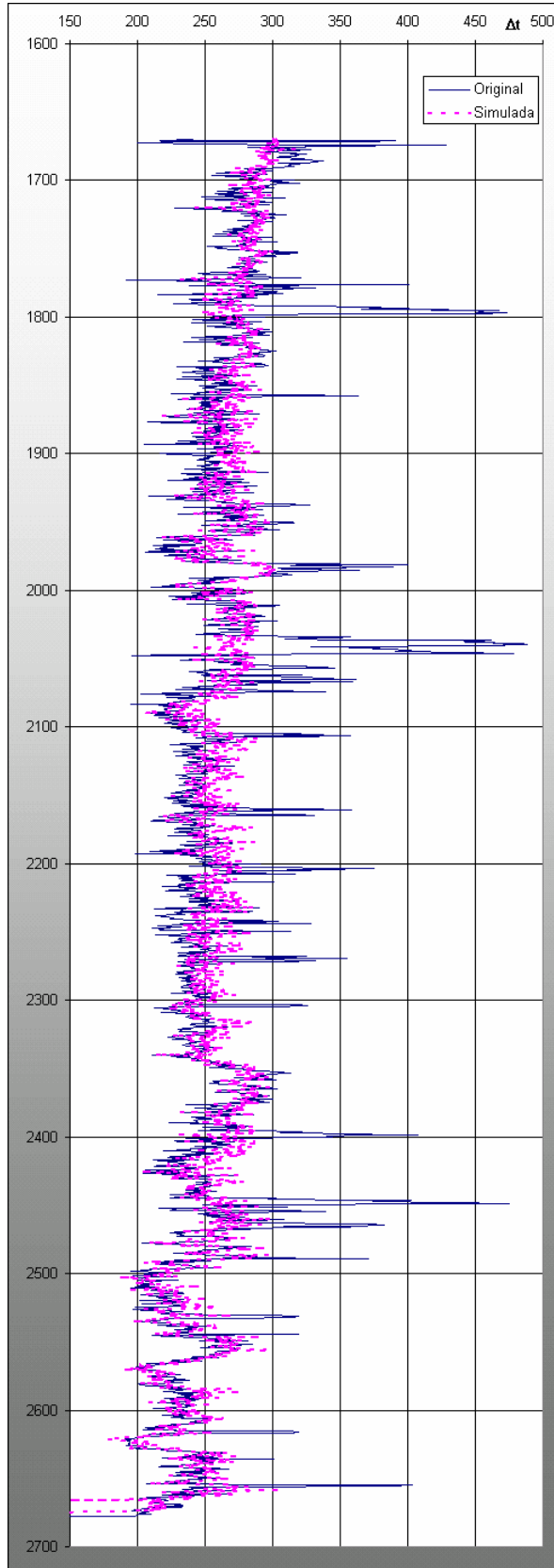


Fig. IV Correlación entre los valores entrenados y los originales en una red 6-5-1 con LLS, LLD, SP, RHBO, PHIN CGR como neuronas de entrada, algoritmo Levenberg-Marquardt error final 1%.



En la figura IV puede verse una correlación aceptable de 0.75 obtenida después del entrenamiento con 6 neuronas de entrada, la cual resultaría mejorada de no existir puntos correspondientes al corte donde los valores parecen anómalos; el error final del ajuste se situó en 0.1 (1%) y fueron tomados el 50% de los datos para entrenar, 25% para validar y 25% para prueba durante el entrenamiento.



Estos datos graficados como registro (versus profundidad) pueden verse en la figura V, y la conclusión que puede extraerse de lo que se observa no es precisamente desechar los resultados de este posible patrón.

Puede aquí verse que aquellas capas de valores anómalos ajustan menos, y en muchos casos muy poco, lo cual impone un reto a la experimentación para estos casos fluctuantes.

En la figura VI se presenta la correlación de los resultados variando la arquitectura de la red; se han reducido esta vez las neuronas de entrada mas se incluye una no empleada antes: la profundidad y se ha seguido entrenando con Levenberg-Marquardt imponiendo una precisión mayor de 0.001 (0.1%). Otra diferencia es que en la distribución de los patrones se redujo a la mitad el número de los destinados a validación y pruebas durante el entrenamiento y se reservó un 25% restado para emplearlos como nuevos datos para el patrón una vez entrenado.

No es aconsejable<sup>(1)</sup> semejante dureza en el error final porque luego la red entrenada puede perder eficacia en tareas de generalización, de la misma manera que Levenberg-Marquardt se recomienda<sup>(2)</sup> para datos lo más estándar posibles o utilizar el patrón entrenado en nuevos datos comprendidos en el rango de los entrenados. Sin embargo, aunque aquí el coeficiente de correlación ha disminuido hasta 0.6375 frente a 0.75 en el caso anterior, al emplearse el patrón entrenado como simulador en los datos que no fueron entrenados (correlación discontinua y puntos verdes), el

Fig.V Registro de ambas curvas sónicas



valor de la correlación se ha elevado grandemente, dejando la esperanza de que su empleo como patrón generador de la curva delta T a partir de estas cuatro curvas sea realmente eficaz.

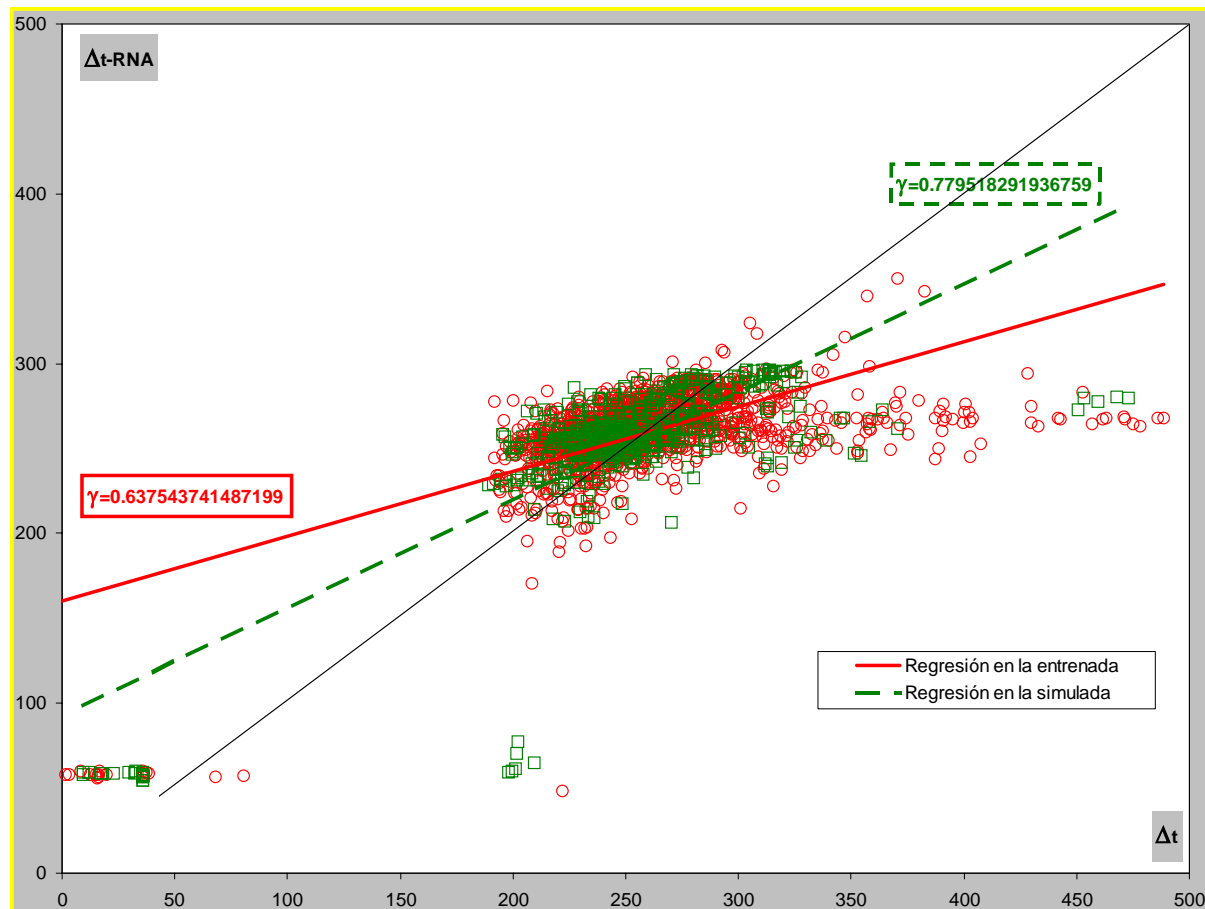


Fig.VI Correlación en el caso del entrenamiento en una red 4-10-1 con LLD, SP, CGR y DEPT (profundidad) como neuronas de entrada, el mismo algoritmo Levenberg-Marquardt y error final 0.1%.

En esta ocasión no se presenta un registro porque no se continuó, como en ningún caso, por ahora, con la generación de la curva delta T en otros pozos; los datos de esta última figura que no se emplearon en el entrenamiento no sirven para hacer un registro con fines comparativos porque al ser datos aleatorios, es decir han sido escogidos sin respetar la yuxtaposición de las profundidades, no daría lugar a una reflexión lícita.

Como quiera que sea el trabajo no ha concluido y de todas formas es de mucho experimentar porque lo que sí no ha sido logrado aún en el campo de las redes neuronales artificiales es establecer un método que evite el tanteo "a ojo" para escoger la arquitectura de la red a utilizar; de hecho esto constituye todavía el objetivo de muchos investigadores en estos momentos.

## Conclusiones.

1. Queda demostrada una vez más, ahora en un caso particular de la exploración petrolera en Cuba, que las técnicas de redes neuronales artificiales son factibles de



aplicarse en nuestros casos y pueden llegar resolver problemas reales como los que se está intentando acometer en trabajos actuales de este mismo autor.

2. Se hace necesario para esto un mayor tratamiento preliminar de los datos iniciales por cuanto estos lógicamente influyen pesimistamente en los resultados finales.

3. No se ha demostrado, en el caso de la curva delta T, sea estrictamente necesario el empleo de tantas entradas como las expuestas en trabajos consultados, y sin embargo parece más apropiado el uso, por ejemplo, de la curva de profundidades, la cual imprimiría a la información inicial el concepto de regionalidad necesario en el empleo de un patrón en pozos situados en otras áreas.

### **Bibliografía**

1. MARTÍN DEL BRÍO, BONIFACIO y SANZ MOLINA, ALFREDO. Redes Neuronales artificiales. 2da. ed. México: Alfaomega, 2002. ISBN 970-15-0733-9.
2. Tutorial de redes neuronales artificiales. Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira, <http://ohm.utp.edu.co/neuronales/>
3. NIELSEN, SIGFRIDO. Redes neuronales – evaluación de la calidad de reservorios, <http://www.geoinfo.com.ar/papers/nn.htm>



# RECONOCIMIENTO ESPACIAL DE ZONAS DE COMBINACIÓN DE FACTORES NATURALES EN EL CONTEXTO DE UN SIG ANALÍTICO.

**Dr. Eduardo Garea Llano**

*Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada (MINBAS), Calle 7ma No 21812 /218 y 222 Reparto Siboney, Playa, Ciudad de La Habana CP 12200, Cuba: [egarea@cenatav.co.cu](mailto:egarea@cenatav.co.cu).*

## RESUMEN

La aplicación de las tecnologías de los SIG como herramienta en el proceso de toma decisiones para el manejo de los fenómenos y factores de degradación en diferentes contextos, así como el manejo de recursos naturales, se ha desarrollado a nivel mundial con ejemplo en múltiples aplicaciones. En este contexto las investigaciones han estado dirigidas a la evaluación por separado de cada uno de estos factores o a su integración parcial, pero no se ha logrado establecer procedimientos y métodos que posibiliten su evaluación integral.

En el trabajo se propone un método para el reconocimiento espacial automático de zonas de combinación de factores en el contexto de un Sistema de Información Geográfica Analítico. Esta propuesta contiene todos los pasos contenidos en los métodos de análisis de un Sistema de Información Geográfica, especialmente los relacionados con los métodos de reclasificación y superposición píxel a píxel, ellos son combinados con un método de codificación creado por el autor sobre la base del sistema binario.

Se presenta un algoritmo y su correspondiente programa que descompone el valor de suma obtenido en cada zona de combinación. Dos aplicaciones de nuestra propuesta ilustran la aplicación del algoritmo desarrollado, una en suelos afectados por procesos degradativos de la llanura sur de Pinar del Río y otro dirigido al reconocimiento de zonas de combinación de riesgos naturales, en una futura área de desarrollo turístico en la costa norte de Holguín.

## ABSTRACT

In this paper, we propose a method to automatic spatial recognition of natural factor's combination zones in the context of reasoning in a GIS environment. This approach contains all steps involved in the analytical GIS methods, especially reclassify and pixel to pixel superposition; they are combined with codification to obtain the method and algorithm of the spatial recognition. A set of maps describing spatial distribution of natural factors or phenomenon are reclassified by unique identifier calculated using a new expression, the maps, in raster format, are superimposed pixel to pixel by algebraic sum, the result is a new raster map that contains pixels with the values of the products carried out sum, we propose algorithm and program to recognize what factors are combined in each zone. Two applications of our approach are illustrated by spatial recognition of degradation zones in soils affected by degradation in Pinar del Río and evaluation of natural risks in a tourist region in Holguín.

## INTRODUCCIÓN

Una de las funciones de un SIG y la que lo diferencia de otros sistemas como los programas de cartografía asistida por ordenador o de uno de Gestión de Bases de Datos es su capacidad de análisis, de generar nueva información a partir de la ya existente mediante su manipulación y reelaboración.





Varios autores (Van Westen, C.J. 1993, 1996, 1997a, 1997b ; Díez A., 2002; Romero J.A., 1989; Alafont LS, 2002; Castellanos E, 2002; García J, 2002 ) han demostrado que la combinación de los métodos de reclasificación en combinación con los de superposición de mapas han sido efectivos como herramientas de análisis en los SIG para la solución de diferentes problemas relacionados con la conservación del medio ambiente; para la creación a partir de criterios de expertos de mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo ante diversos fenómenos naturales; la determinación de la ubicación de instalaciones como basureros, aeropuertos, embalses, etc, los que requieren del análisis de diferentes factores espaciales para su localización.

Van Westen, C.J. (1993) presenta la combinación de estos métodos para la obtención de un mapa de peligros geológicos en una región de Europa, en el mismo desarrolla para el análisis un modelo lógico, basado en la combinación de una serie de mapas previamente reclasificados empleando métodos de asignación de pesos a las variables que describen la intensidad de los fenómenos estudiados y los superpone mediante la suma entre ellos, como resultado obtiene un nuevo mapa, donde cada píxel de salida tiene el valor de la suma de los píxeles de los mapas fuentes en esa posición. Finalmente reclasifica el mapa resultante en categorías de peligrosidad.

Este método posibilita la agrupación inicial de los procesos superpuestos en un mapa resultante, pero no llega a determinar como se distribuyen las combinaciones ni las representa espacialmente, aunque para el objetivo de nuestra investigación la forma de reclasificar los mapas fuentes puede resultar útil.

Este mismo método es utilizado por el referido autor para la obtención de otros objetivos como la modelación cartográfica de la erosión en los suelos constituidos por depósitos piroclásticos del volcán Pinatubo en las Islas Filipinas (Van Westen, C.J., 1996), en este caso nuevamente propone un modelo lógico donde combina la reclasificación y superposición de mapas, pero el resultado final es un mapa donde se muestran las zonas afectadas sin llegar a delimitar dentro de ellas los diferentes grados de afectación, ni agrupar espacialmente las combinaciones de factores que pudieron diferenciarlas.

En otros trabajos (Van Westen, C.J., 1997a, 1997b), la combinación de estos métodos es utilizada para la determinación de zonas óptimas empleando para ello la reclasificación booleana, o sea asignando valores de 0 y 1 a cada uno de los mapas fuentes, y luego efectuando la superposición a través de operadores lógicos, como resultado obtiene un nuevo mapa booleano. Con este método en cierta medida se llega a conocer la combinación de procesos que intervienen en la conformación de una determinada zona, la dificultad está en que sólo se obtienen regiones en las que se combinan todos los factores, las restantes combinaciones no son consideradas.

Otros autores han estado utilizando estos métodos de manera muy parecida. En España han sido publicados los trabajos de Díez, A. (2003) en donde se muestran sus experiencias en los análisis de riesgos de inundaciones fluviales, como resultado ha obtenido mapas de riesgos y vulnerabilidad, delimitando zonas con diferente grado de complejidad por estar estas constituidas por una serie de factores superpuestos.

En este mismo ámbito es importante analizar los trabajos de Alafont. LS (2003), desarrollados para la elaboración de un mapa de riesgo combinado para las aguas subterráneas mediante un SIG, el mismo utiliza la superposición de mapas por un camino un poco largo, pero que



finalmente llega a un resultado provechoso. Para ello desarrolla un modelo lógico basado en la utilización de la recuperación vectorial, la reclasificación y la superposición de mapas raster

Este esquema aunque un poco tortuoso llega finalmente a encontrar zonas de combinación de los diferentes factores que influyen en el fenómeno estudiado, su dificultad principal radica en que para reclasificar los mapas fuentes necesita asignar un identificador único a cada categoría de fenómeno, luego superponerlas mediante una suma por lo que se obtiene un mapa por cada serie de factores que luego es necesario unificar mediante una nueva superposición, finalmente realiza la asignación de un identificador a cada zona de combinación y elabora una leyenda con la lista de factores que se combinan en cada zona.

En principio esta experiencia pudiera ser válida para nuestro caso, pero dada la cantidad y complejidad de procesos a analizar, se haría muy engorroso su implementación y en lo referente al manejo de la información resultante a través de una leyenda, esta conspiraría contra la eficiencia que se pretende lograr.

En Cuba se han empleado estos métodos con fines de estudios de peligro, riesgos y vulnerabilidad, entre ellos se encuentran los trabajos de Castellanos, E (2002) realizados para el manejo de desastres naturales fundamentalmente de carácter geológico, donde combina los métodos de reclasificación y superposición de mapas para obtener cinco mapas diferentes (susceptibilidad, peligro natural, riesgo específico y riesgo total) a partir del análisis de una serie de factores naturales los que combina utilizando el método de asignación de pesos de Saaty y su posterior superposición mediante operadores lógicos. En este caso no llega nunca a agrupar los factores por sus combinaciones, sino que clasifica el territorio, mediante escalas graduales.

La misma tónica se puede observar en el trabajo de García, J (2002) desarrollado con el objetivo de facilitar el manejo y evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Santiago de Cuba mediante la reclasificación y superposición de mapas geológicos del área en categorías según su comportamiento dinámico ante las sacudidas sísmicas, obteniendo los mapas de susceptibilidad litológica. La combinación espacial de estos mapas con el de profundidad del nivel freático posibilitó la obtención del mapa de efectos sísmicos por analogías ingeniero geológicas

Del análisis de los trabajos de los mencionados autores y de otros consultados (Tkach R.J y Simonic S.P, 2000; Yialouris C, 2000) es posible apreciar también que existen dos direcciones fundamentales en la utilización de los métodos de reclasificación en combinación con la superposición de mapas para estos tipos de análisis:

Una primera, basada en la ejecución de operaciones de análisis mediante la implementación de modelos lógicos booléanos, o modelos basados en lógica Fuzzy mediante la utilización de mapas fuentes binarios y la utilización de operadores lógicos para la superposición dando como resultado un nuevo mapa binario.

Por lo general estos métodos son utilizados para determinar zonas óptimas donde se cumplan una serie de condiciones a la vez o donde no se cumplan.

La segunda variante, basada en la asignación de pesos a los mapas fuentes, en dependencia de la importancia que tenga el factor representado respecto a su incidencia sobre el fenómeno estudiado. El mapa resultante es obtenido mediante alguna operación algebraica.



Como resultado se obtiene un nuevo mapa de pesos que al ser reclasificado puede ofrecer una clasificación gradual en zonas de toda la superficie representada en el mismo.

De lo analizado se puede concluir que:

- En las consultas y análisis de la literatura revisada no se ha podido comprobar la existencia de un método eficiente en cuanto al gasto de tiempo y facilidades de manejo de la información resultante para la determinación espacial de zonas combinaciones de procesos o fenómenos naturales, mucho menos en el caso concreto de los suelos, en el que esto se ha desarrollado solamente mediante métodos analógicos.
- El método empleado por Alafont. LS (2003), puede servir de punto de partida para desarrollar un procedimiento más eficiente combinando los métodos de reclasificación y superposición de mapas.
- Por sus características los métodos de reclasificación basados en los valores de los atributos temáticos, pueden ser aplicados en los análisis de la información espacial y temática de suelos, como herramienta para la reclasificación de mapas en el proceso de determinación de la distribución espacial de combinaciones de sus principales procesos degradativos. Para este caso, se necesita reclasificar mapas en los que se han reflejado la distribución espacial de los fenómenos degradativos y variar los valores del atributo representado por otro que permita diferenciar los procesos presentes en la región de estudio.
- La combinación de métodos de reclasificación con superposición de mapas píxel a píxel, sobre todo en su segunda variante puede ser utilizada para la determinación de las zonas de combinaciones de procesos degradativos en los suelos, aunque se hace necesario encontrar un procedimiento, para realizar una vez conformado el mapa resultante la tarea inversa, conocer a través del mismo la combinación de procesos presentes en cada zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El método se ha diseñado sobre la base de asignar un valor numérico a cada proceso, que en este caso no será un valor peso, pues no se trata de describir el comportamiento espacial del fenómeno, sino de encontrar zonas de agrupación de fenómenos e identificarlos. De esta manera el valor asignado no dependerá del grado de incidencia del fenómeno, sino que será simplemente un identificador que permitirá diferenciarlo de los restantes.

El resultado de la aplicación del método será un nuevo mapa, producto de la superposición de todos los mapas de procesos (reclasificados por un identificador único). Este mapa resultante representará espacialmente zonas de combinación de procesos a través del valor de los píxeles de salida, que como resultado de la operación efectuada, tendrán el valor de la suma de los identificadores en cada mapa de proceso.

En la figura 1 se muestra el esquema metodológico en que se basa el método diseñado. Teniendo en cuenta que la esencia del método propuesto radica en la combinación de identificadores de procesos degradativos y su posterior descomposición para determinar el



conjunto de soluciones tecnológicas, el mismo puede ser nombrado como: “Suma combinación y descomposición de identificadores”.

Como una parte de los procesos que forman parte del esquema (Fig. 1) ya han sido descritos y referidos en otros trabajos, solo nos detendremos en aquellos que a nuestro entender aportan el sentido novedoso a este método, los mismos son:

- Determinación de la sucesión numérica de identificadores.
- Descomposición de identificadores.

### ***Determinación de la sucesión numérica de identificadores***

El primer problema a resolver consistía en asignar a cada uno de los procesos degradativos un identificador, los que sumados entre si, en cualquier combinación posible, ofrezcan como resultado nuevos identificadores, desde los cuales sea posible determinar los procesos que intervinieron en su composición.

De la matemática clásica se conoce que el conjunto de los números naturales si bien resulta el menos amplio de los dominios numéricos, posee una propiedad muy sencilla, pero a la vez importante, que lo distingue de los dominios restantes y es que cada subconjunto no vacío de  $N$  (conjunto de los números naturales), posee exactamente un elemento que es el menor de todos (Günter L., 1979).

Conociendo esta propiedad, el conjunto de identificadores a asignar a los procesos degradativos, puede pertenecer al conjunto de los números naturales, pues en este caso siempre va a existir al menos la presencia de un factor, o sea un mínimo, de esta forma se puede expresar que:  $K_0 \subset N$ , donde  $K_0$  es el conjunto de identificadores de los procesos degradativos.

Si enumeramos las categorías de procesos degradativos en orden consecutivo de la forma expresada en la tabla II.3, podemos establecer que la primera categoría puede ser identificada con valor 1, o sea el mínimo del conjunto  $K_0$ . Como no es posible que una misma categoría este presente dos veces en un mismo lugar (o sea la combinación 1+1 no es posible), entonces la segunda puede ser identificada con valor 2.

De esta manera conociendo la propiedad de la suma que establece que, para los números naturales  $a$  y  $b$  existe siempre un número natural  $x$  y solo uno, que es la suma de los números  $a$  y  $b$ ;  $a+b = x$ . Es perfectamente demostrable que las combinaciones posibles de suma entre 1 y 2 siempre tendrán como resultado el valor 3.

Entonces la tercera categoría debe ser identificada con un número diferente al producto de la combinación de las sumas de 1 y 2 con valor igual 3, o sea, puede ser 4, o lo que es lo mismo; el producto de la suma de los identificadores anteriores en orden, más 1, lo que puede ser expresado de la siguiente forma:

$$K_3 = K_1 + K_2 + 1 \quad (1)$$

Donde;

$K_1, K_2$  y  $K_3$ , identificadores de las categorías de orden 1, 2 y 3 respectivamente.



De la misma forma para definir el identificador de la cuarta categoría es necesario, obtener un número diferente al producto de la combinación de sumas de los valores 1,2 y 4, cuyo valor máximo es 7 ( $1+2+4=7$ ). Si se aplica el procedimiento anterior ( $7+1$ ) obtendremos 8 como valor de identificador para la cuarta.

De lo antes expuesto, se deduce que el cálculo de los identificadores puede ser expresado de la siguiente forma:

$$\begin{array}{ll} K_1 & 1 = 1 \quad (=2^0) \\ K_2 & 1+1=2 \quad (=2^1) \\ K_3 & 1+2+1=4 \quad (=2^2) \\ K_4 & 1+2+4+1=8 \quad (=2^3) \end{array} \quad (2)$$

$$K_n = 2^{n-1}$$

Para comprobar que la expresión  $K_n = 2^{n-1}$  es válida para todo  $n > 0$  donde  $n \in \mathbb{N}$  podemos expresar la proposición de la siguiente manera:

$$1+2+4+8+16+\dots+2^{n-1} = 2^n - 1 \quad (3)$$

Demostremos que la suma de los números naturales desde 1 hasta  $K_n$ , donde  $K_n = 2^{n-1}$  es siempre  $2^n - 1$  utilizando el método de Inducción Completa (Günter, L., 1979).

1- Inicio de inducción:

La fórmula en cuestión es válida para  $n=1$  pues,  $1 = 2^{1-1} = 2^0$

2- Paso de Inducción

Para todo número natural  $k > 0$ , se muestra que la veracidad de la fórmula para  $n=k$  se deduce su veracidad para  $n = k+1$ .

– Hipótesis de inducción: La fórmula es válida para  $n=k$ , o sea

$$1+2+4+8+16+\dots+2^{k-1} = 2^k - 1 \quad (4)$$

– Tesis de inducción: La fórmula también es válida para  $n=k+1$ , o sea

$$1+2+4+8+16+\dots+2^{(k+1)-1} = 2^{k+1} - 1 \quad (5)$$

$$1+2+4+8+16+\dots+2^k = 2^{k+1} - 1 \quad (6)$$

– Demostración de la tesis de inducción a partir de la hipótesis

Según la hipótesis de inducción se cumple:

$$1+2+4+8+16+\dots+2^{k-1} + 2^k = 2^k - 1 + 2^k = 2^k + 2^k - 1 \quad (7)$$



Según las propiedades de la suma de potencias la expresión puede ser escrita de la siguiente manera:

$$1+2+4+8+16+\dots+2^{k-1}+2^k = 2^{k+1}-1 \quad (8)$$

El miembro derecho de la ecuación es exactamente lo expresado en la tesis de inducción.

Con esto queda demostrada la tesis de inducción y por consiguiente, la formula supuesta, por lo que es posible determinar mediante ella los identificadores que serán asignados a cada uno de las categorías de procesos degradativos.

Ahora demostraremos que la suma de los identificadores en cualquier combinación posible es única, y que no existe otra combinación de sumandos que ofrezca el mismo resultado, tomando en cuenta que cada categoría de fenómeno puede estar presente solo una vez en la misma posición y que cada una está identificada con el valor de la potencia de 2 en la posición anterior a su lugar en el listado de procesos, o sea  $K_n = 2^{n-1}$

Luego del análisis realizado en diferentes textos, conocemos que en el sistema binario los números son cadenas de ceros y unos y el valor de cada uno viene dado por la suma de los productos de cada número por la potencia de 2 correspondiente a su número de orden de izquierda a derecha, por ejemplo:

El número binario 101101110 representa:

$$0 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^7 + 1 \times 2^8 = 366 \quad (9)$$

o lo que es lo mismo:

$$0 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 4 + 0 \times 8 + 1 \times 16 + 1 \times 32 + 0 \times 64 + 1 \times 128 = 366 \quad (10)$$

En este caso también el valor del identificador está en función de la posición, pues la ausencia de un fenómeno en un determinado lugar provoca la ausencia del sumando, lo que expresado en sistema binario sería el valor 1 en cada posición donde este presente el fenómeno degradativo y cero donde el fenómeno correspondiente en la lista no este presente. Entonces:

$$1 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + \dots + 1 \times 2^{n-1} = 2^n - 1 \quad (11)$$

Como se puede apreciar la expresión obtenida ( $K_n = 2^{n-1}$ ) es equivalente a la utilizada para la decodificación de números en sistema binario, sistema que es ampliamente utilizado por todos los ordenadores actuales. La principal virtud del mismo y lo que ha permitido su amplia aplicación, es precisamente la propiedad demostrada de que para cada número representado existe solo una combinación, expresada a través de la suma de los productos de cada número por la potencia de 2 que corresponde a su posición.

Ahora el problema se presenta a la hora de determinar, a través del identificador obtenido en cada uno de los píxeles del mapa resultante (superposición píxel a píxel), cuales fueron los procesos que intervinieron en su formación y el conjunto de soluciones tecnológicas para cada uno.





### **Descomposición de identificadores**

Para la descomposición de los identificadores se ha desarrollado un procedimiento basado en la comparación de los identificadores obtenidos para cada zona de combinación producto de la suma, con los identificadores asignados a cada uno de los procesos. La ejecución de este procedimiento tiene carácter cíclico, pues la comparación se realiza a partir del identificador con valor máximo asignado para la zona de estudio. Para una mejor comprensión, este procedimiento puede ser expresado gráficamente a través de un diagrama de flujo (Figura 2).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para la validación del método propuesto se realizaron dos experimentos en áreas de suelos afectados por diferentes fenómenos degradativos en la llanura sur de Pinar del Río y en una zona de desarrollo turístico en la costa norte de Holguín

- Objetivo del experimento: Comprobar la validez del Método “Suma combinación y descomposición de identificadores” para la determinación de zonas de combinación de factores y procesos.

Datos de partida: Para el caso del estudio de suelos se tomaron como datos de partida los resultados del proyecto: ejecutado por el Instituto de Suelos en el área de estudio (Rivero, L, 2001) y para el caso de la región turística datos de estudios de riesgos realizados por GEOCUBA.

Procedimientos y procesos realizados: Los procedimientos realizados para la implementación se corresponden con los procesos planteados en el Esquema metodológico para la implementación del método “Suma combinación y descomposición de identificadores” (figura 1) y se desarrollaron además los siguientes:

1. Se programaron e implementaron herramientas personalizadas de recuperación en el SIG ArcView 3.2.
2. Basado en el esquema definido, se determinó (en el caso del experimento con los suelos) para cada operación su equivalente en el método analógico y se realizó un estimado de, en qué tiempo y a qué costo se podría llegar a los resultados esperados.
3. Se midieron los tiempos de cada operación y sus costos, se compararon con los estimados para el método analógico.
4. Se compararon los resultados, en cuanto a cantidad de zonas y procesos que las integran obtenidos como resultado del proyecto y las obtenidas por el método propuesto.

Resultados y discusión de los experimentos: Los resultados de los experimentos realizados son los siguientes:

1. Se delimitaron las zonas de combinación de procesos degradativos que afectan a los suelos del territorio de estudio en Pinar del Río y zonas de combinación de riesgos naturales en Holguín



2. Se identificaron las combinaciones de procesos degradativos presentes en cada zona y el conjunto de soluciones tecnológicas a aplicar en cada caso según criterios de expertos para el caso del estudio de suelo, en el estudio de riesgos se determinaron las zonas de combinaciones de riesgos para el área de estudio.
3. Se programó y probó el algoritmo de descomposición de identificadores
4. Se implementaron herramientas personalizadas de recuperación que permiten conocer rápidamente los procesos y soluciones tecnológicas por cada zona en el mapa.

Los resultados de las comparaciones entre tiempos y costos de la realización de las operaciones utilizando la tecnología propuesta y los estimados para el método analógico se muestran en la tabla I.

En la figura 3 se muestra los resultados de la comparación entre los mapas obtenidos como resultado del proyecto (Rivero, L., 2001) y los obtenidos por el método propuesto.

Del análisis comparativo de los resultados se puede concluir que:

- Los tiempos y costos para la determinación espacial de las zonas de combinaciones de procesos, son muy bajos comparados con los estimados para el método analógico.
- Se determinaron mayor cantidad de zonas de combinación con mayor grado de detalle, en cuanto a cantidad de procesos que las integran en comparación con las obtenidas como resultado del proyecto por el método analógico.
- La distribución espacial de las zonas obtenidas coinciden en gran medida con las obtenidas por el método analógico, lo que corrobora su efectividad.
- Los resultados demuestran la validez del método propuesto y su eficiencia en la ayuda a la toma de decisiones.

Tabla I: Resultados de las comparaciones entre tiempos y costos de la realización de las operaciones utilizando la tecnología propuesta y los estimados para el método analógico.

Tecnología propuesta				
Cant de operaciones	Tiempo total (min)	Costo Material (pesos)	Costo Salario (pesos)	Costo Total (pesos)
<b>13</b>	<b>17,00</b>	<b>0.084</b>	<b>0.99</b>	<b>1.17</b>
Método analógico				
Cant de operaciones	Tiempo total (min)	Costo Material (pesos)	Costo Salario (pesos)	Costo Total (pesos)
<b>20</b>	<b>4650,00</b>	<b>5,23</b>	<b>238,81</b>	<b>244,04</b>

## Conclusiones

Se obtuvo el método “Suma combinación y descomposición de identificadores que permite el reconocimiento espacial de zonas de combinación de factores en el ambiente de un SIG analítico, sobre



la base de la combinación de métodos de reclasificación, superposición píxel a píxel y la codificación binaria de los factores.

Se comprobó la validez del método propuesto y su eficiencia como herramienta para facilitar el proceso de toma de decisiones.

Se debe profundizar y dirigir las consecuentes investigaciones al estudio y disminución del error en la clasificación de los píxeles periféricos de las zonas de combinación.

## BIBLIOGRAFÍA

Alafort, L.S. (2003): "Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y el Medio ambiente" Elaboración de una mapa de riesgo medioambiental combinado para las aguas subterráneas mediante SIG, Madrid 2003, 288pp.

Castellanos, E. (2002). GIS for Natural Disaster Management, Publicación Electrónica, GEOMATICA' 2002. Ciudad de La Habana, 2002. 12pp.

Diez, A.(2003): Aplicaciones de los SIG al análisis del riesgo de inundaciones fluviales, en "Los Sistemas de Información Geográfica en la gestión de los riesgos geológicos y el medio ambiente". Madrid 2003, 288pp.

Günter, L.(1979): Matemática 10, Capítulo Dd; Inducción completa, Sucesiones elementales,. Editorial Pueblo y Educación, 1979. 223-345.

Rivero, L., (2001): Sistema de Información y monitoreo y tecnologías integrales para preservar el suelo de la salinidad y posible impacto de los cambios climáticos en agroecosistemas con problemas actuales y potenciales de salinización. Informe final del proyecto 01305005, CITMA. 15pp.

Romero, J.A., Florez, A. y Sanchez,H.A.(1989): Inventario inicial de riesgos Naturales en Colombia. Análisis Geográficos No.16. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia. 10pp.

Tkach R.J y Simonis S.P (2000): A new approach to multicriteria decision making water resources, GIDA Journal of geographic information and decision analysis, Volumen1. No.1, 2000, pp 95-103, URL: <http://www.geodec.org/>.

Van Westen, C.J. (1993): Remote sensing and geographic information systems for geologic hazard mitigation. ITC Journal 1993-4. 15pp.

Van Westen, C.J. (1996): Cartographic modelling of erosion in pyroclastic flow deposits of Mount Pinatubo, Philippines. ITC Journal 1996-2: 110-124

Van Westen, C.J. (1997a): Hazard, vulnerability and risk analysis. ILWIS for Windows, Applications Guide,



ILWIS Department, ITC,Holanda,1997.6pp.

Van Westen, CJ. (1997b):Tools for map analysis applied to the selection of a waste disposal site. ILWIS for Windows, Applications Guide, ILWIS Department, ITC,Holanda,1997.6pp.

Yialouris C.(2000): An integrated geographic information system for soil suitability and soil evaluation, GIDA Journal of geographic information and decision analysis, Volumen1. No.2, 2000,89pp.



Figura1: Esquema metodológico para la implementación del método “Suma combinación y descomposición de identificadores”.

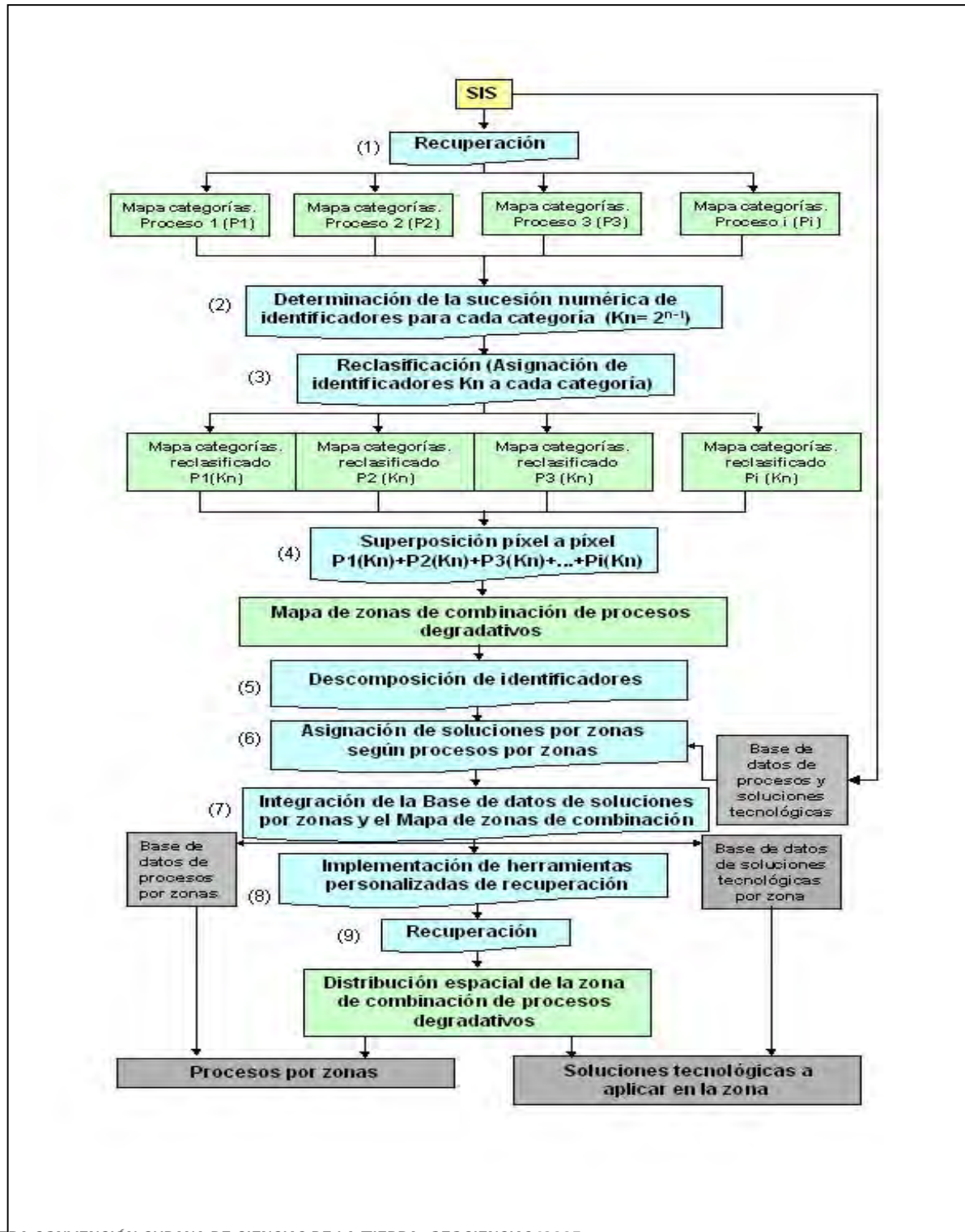




Figura 2. Diagrama de flujo para el procedimiento de descomposición de identificadores

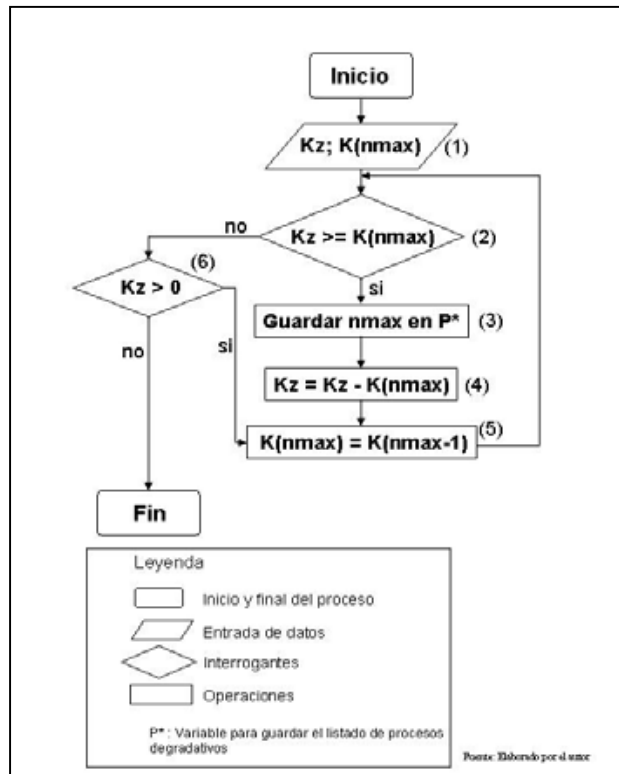
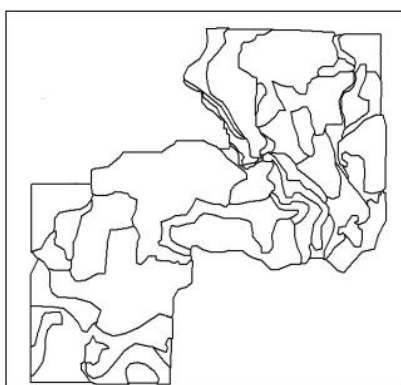
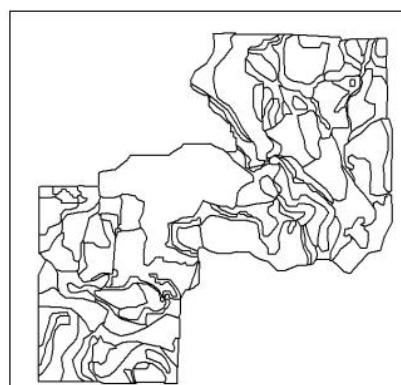


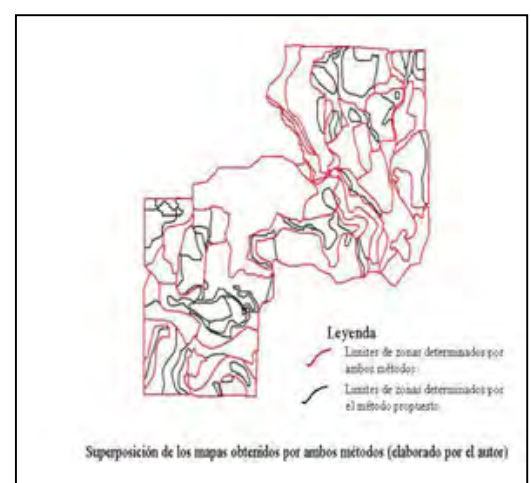
Figura 3. Resultados de la comparación entre los mapas obtenidos del proyecto (Rivero, L., 2001) y los obtenidos por el método propuesto.



Mapa de zonas de combinación obtenido por el método analógico (Rivero, 2001)



Mapa de zonas de combinación obtenido por el método propuesto (elaborado por el autor)







## PROCESAMIENTO DE IMÁGENES LANDSAT PARA LA EVALUACIÓN REGIONAL DE ESTRUCTURAS CON POTENCIAL GASOPETROLÍFERO.

**Orlando Álvarez Hernández** <sup>(1)</sup>, **Julio Ernesto Gómez Herrera** <sup>(1)</sup>, **Ramón Cruz Toledo** <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington 169, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba,  
E-mail: [oral@ceinpet.cupet.cu](mailto:oral@ceinpet.cupet.cu), [julio@ceinpet.cupet.cu](mailto:julio@ceinpet.cupet.cu), [cruz@ceinpet.cupet.cu](mailto:cruz@ceinpet.cupet.cu)

### RESUMEN

El área de estudio está relacionada con la Franja Norte Occidental Cubana de Crudos Pesados, caracterizados en un ambiente de sobrecojimientos y desarrollo de mantos tectónicos del complejo vulcanógeno – sedimentario, secuencia ofiolítica (Terreno Zaza), que cubren las rocas de las Unidades Tectonoestratigráficas (UTE) carbonatadas, Placetas y Camajuaní en diferentes zonas, que a su vez están sobrecojidas. Nuestro interés fundamental está dirigido a detectar estructuras a profundidades no mayores 1500 m. con potencial gasopetrolífero, relacionadas con la secuencia vulcanógeno – sedimentaria (ofiolítica). Estos objetivos adquieren sus propiedades de entrapamiento de hidrocarburos mediante diferentes procesos tectónicos y cambios faciales, caracterizándose por presentar grandes débitos de hidrocarburos, aunque con reservas extraíbles pequeñas. Por su poca profundidad, calidad del hidrocarburo entrapado y precios actuales del petróleo en el mercado, los hace significativamente rentables.

Para detectar las manifestaciones de estas estructuras en superficie con utilizaron de técnicas de sensores remotos, se utilizó una imagen digital del sensor LANDSAT TM en las bandas 2 (espectro visible), 4 (infrarrojo cercano) y 7 (infrarrojo medio), procesadas con el software ErMapper 6.4 y visualizadas en un Sistema de Información Geográfico, que mostraron características espectrales útiles para la posible clasificación litológica y determinación de rasgos tectónicos direccionales. La interpretación con los sensores remotos fue apoyada con otras técnicas como fueron, el mapeo geológico, geofísica y la representación del Modelo Digital del Terreno.

Se aplicó un primer procedimiento que correspondió a las combinaciones de bandas RGB 7, 4 y 2 donde se aplicaron filtros de bordes para efectuar análisis tectónicos, clasificación no supervisada. En un segundo procedimiento se incluyó el modelo digital del terreno (MDT). Se aplicó una clasificación no supervisada, filtrado de decorrelación, stretching, y filtrado direccional para lograr indicadores de los fenómenos de fracturación posibles, creadores de reservorios. La clasificación no supervisada para detectar las alteraciones litológicas no aportó los resultados esperados.

Con la combinación del procesamiento digital de las imágenes, red de drenaje, MDT, y transformadas geofísicas se definieron zonas que evidenciaron la existencia de estructuras elevadas con un grados de tectogénesis reciente formadoras de trampas y tectoalineamientos asociados a fallas de cabalgamiento y fallas con rumbo deslizantes responsables de la migración del petróleo



## ABSTRACT.

Study area is related with the Cuban Western North Area of Heavy Oil, characterized by Alpine –style tectonics with a recognized complex series of overthrust sheets. Several tectono – stratigraphic units (TSUs) as result of the overthrusting carbonate domain Placetas, Camajuani TSUs and ophiolitic and volcanic – sedimentary rocks of the Zaza Terrane overthrust across rocks of Placetas, Camajuani TSUs.

Fundamental interest is directed to detect shallow objectives (not bigger than 1500 m. of depth), related with the ophiolitic sequence. These objectives are characterized to present big hydrocarbon debits, shadow deep, quality trapped hydrocarbon, plus current oil prices in the market, make those significantly profitable.

A Landsat image Thematic Mapper middle infrared (band 7), near infrared (band 4) and green – red visible (band 2) was used to make different procedures. The first procedure corresponded to the directional filter and borders to define tectonic lineament and for define lithologic differences using no – supervised classification process. The second procedure was included the Digital Model Terrain (DMT). Were applied decorrelation, stretching, speckle filters and no supervised (ISODATA) classification algorithms too.

The analyses were demonstrated that recent tectogenesis and tectolineaments defined enhanced potential reservoirs and oil migration.

## INTRODUCCIÓN.

La utilización de técnicas de procesamiento digital de imágenes de sensores remotos se ha convertido en una herramienta de trabajo muy útil en la exploración petrolera aunque paradójicamente, su uso no está muy extendido, en nuestros quehacer cotidiano. Por esa razón el objetivo principal, es el trazado e identificación de diferentes eventos tectónicos en superficie utilizando imágenes de los sensores del satélite Landsat 7, apoyados lógicamente en la información del Modelo Digital del Terreno (MDT), aplicaciones geológicas y geofísicas.

El área de estudio (Figura 1) está relacionada con la Franja Norte Occidental Cubana de Crudos Pesados, caracterizados en un ambiente de sobrecorrimentos y desarrollo de mantos tectónicos del complejo vulcanógeno – sedimentario (Terreno Zaza), que cubren las rocas de las Unidades Tectonoestratigráficas (UTE) carbonatadas, Placetas y Camajuani en diferentes zonas, que a su vez están sobrecorridas. Nuestro interés fundamental está dirigido a detectar objetivos someros con potencial gasopetrolífero (no mayores de 1500 m. de profundidad), relacionados con la secuencia vulcanógeno – sedimentaria (ofiolítica). Estos objetivos se caracterizan por adquirir su capacidad de reservorio o sello en función de su grado de fracturación, con la característica de poseer grandes débitos de hidrocarburo en su etapa inicial y aunque sus reservas extraíbles están catalogadas como pequeñas, por su poca profundidad, calidad del hidrocarburo entrampado y precios actuales del petróleo en el mercado, los hace significativamente rentables.

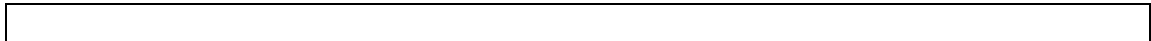
El conocimiento en profundidad de la perspectiva del área, está dado principalmente por la información directa aportada por los pozos de exploración perforados, yacimientos, emanaciones superficiales de hidrocarburos (Linares, 2003) y la información indirecta facilitada por la interpretación de los campos potenciales (gravimetría, aeromagnetometría



y sus transformadas) y la sísmica. Todas apoyándose en la cartografía geológica de superficie.

Sabiendo por experiencia, que existe una impresión en superficie de los fenómenos geológico –tectónicos en profundidad y el desigual conocimiento geológico desde el punto de vista espacial del área, incorporamos el uso de los sensores remotos para potenciar la detección de estructuras, morfología y elementos de estas (fallas y fracturas), responsables de regular la capacidad de sello y reservorio de estas secuencias.

La imagen de satélite Landsat TM-7 nos sirve de herramienta para cartografiar los elementos que condicionan la acumulación potencial de hidrocarburos. Este sensor, está compuesto por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el Landsat 5, se destaca el añadido de una banda espectral pancromática con resolución espacial de 15 m. También cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda térmica para 60 m. Permite trabajar aplicaciones directas hasta una escala de 1:25.000, principalmente en áreas rurales o de grandes extensiones.



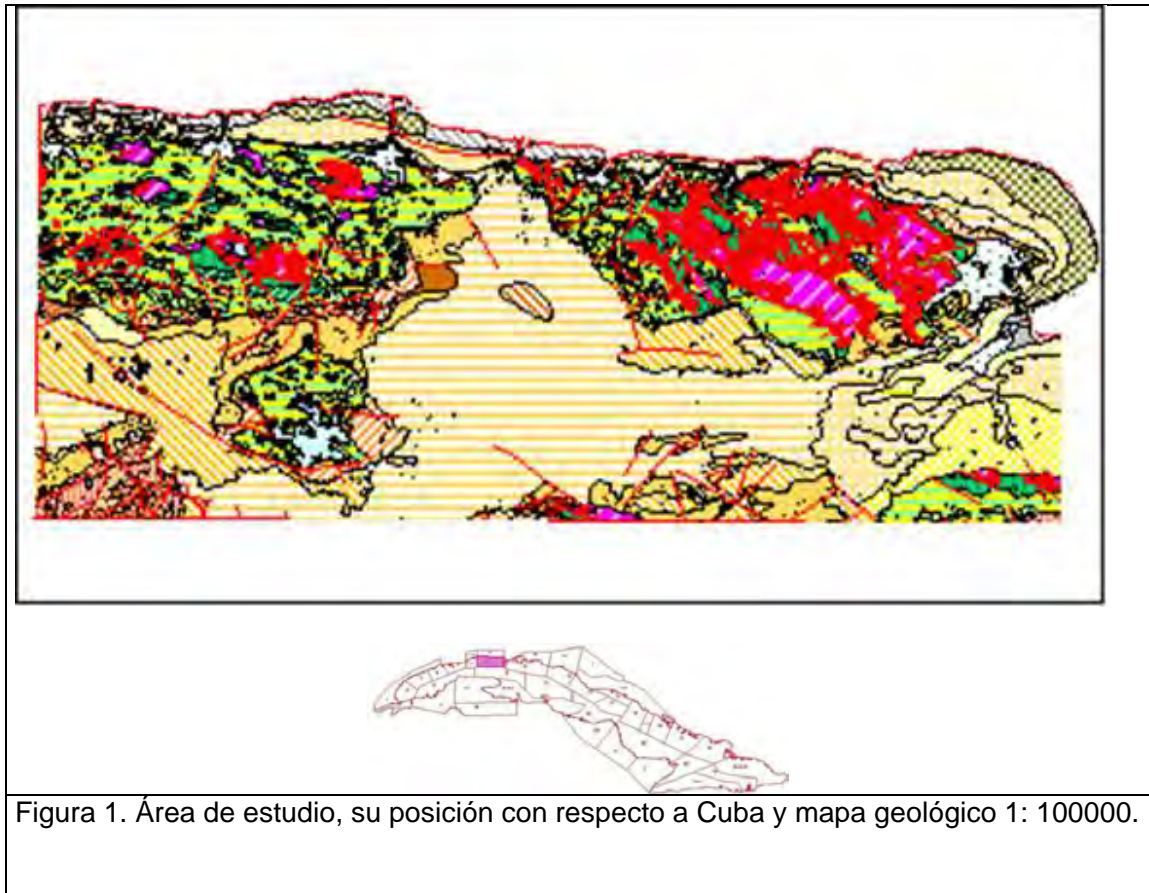


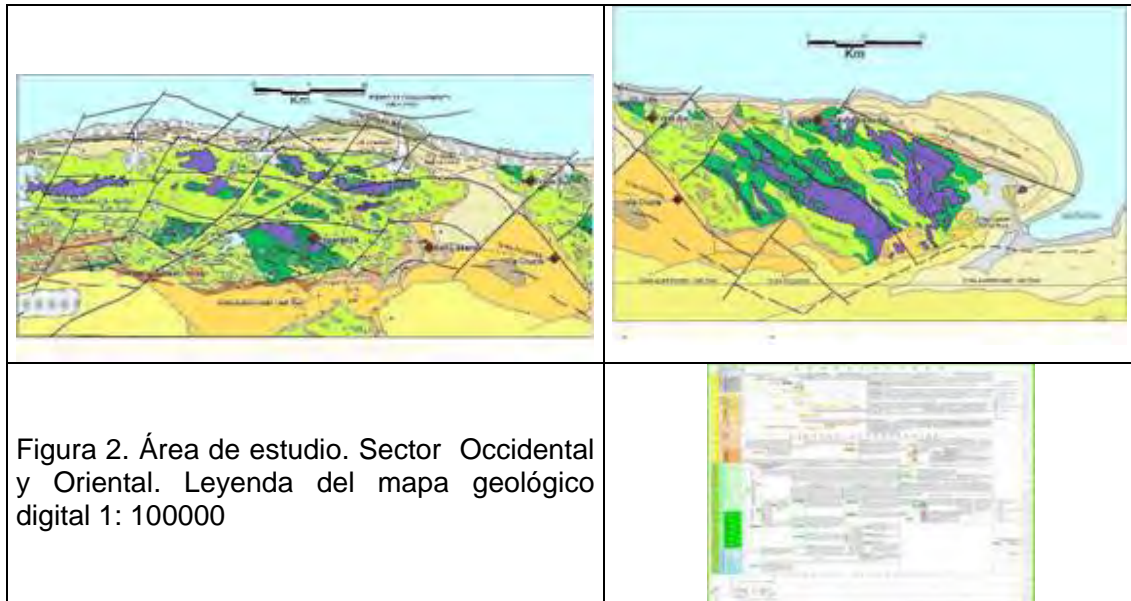
Figura 1. Área de estudio, su posición con respecto a Cuba y mapa geológico 1: 100000.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

El área comprende aproximadamente 1900 Km<sup>2</sup> y geográficamente corresponde con las provincias de La Habana y parte occidental de Matanzas. Se puede dividir regionalmente dos sectores, Occidental (que abarca las estructuras de conocidos yacimientos de petróleo con rumbos de las estructuras W) el sector Oriental (parte Occidental de Matanzas) con rumbos de estructuras de dirección NW-SE que es el rumbo principal cubano. Este giro ocurre debido a la acción de la tectónica transcurrente (Figura 2).

En el sector Occidental se observan escamas de las rocas, del complejo ofiolítico y del arco volcánico con sus sedimentos piggy back de edad Mastrichtiense Según el ampo gravimétrico regional el espesor de los apilamientos puede superar los 9 Km. en algunos lugares. El sector oriental posee un franco rumbo NW – SE, conformado por los esfuerzos del Oligoceno – Mioceno. A consecuencia de esta transurrencia, tendremos fallas sintéticas cuyo sistema conformaron la actual configuración del territorio.

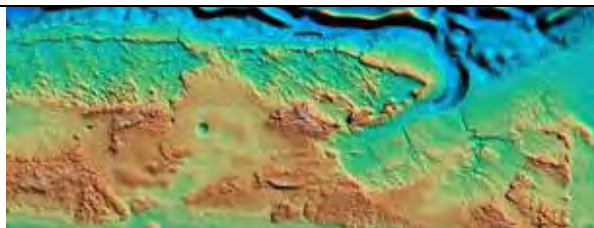




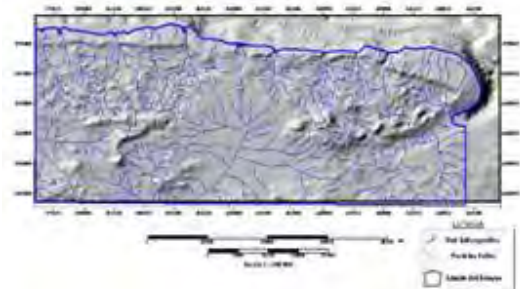
Respecto al Terreno Zaza, en su franja Norte entre 2-3 Km. se desarrolla una fracturación intensa de estas rocas, las cuales al heredar un alto de las calizas infrayacentes pueden ocurrir la acumulación de hidrocarburos en estos reservorios de Zaza fracturados (Gómez, 1994).

Según la información sobre las densidades de las rocas del Terreno Zaza, podemos afirmar que los apilamientos de rocas ofiolíticas y del arco volcánico, producen máximos gravimétricos locales o residuales en el caso de un predominio de las ofiolitas densas. La intensidad de estos máximos depende tanto de la profundidad a que se encuentren estos apilamientos o mantos, su espesor y el contraste de densidades (Otero, 2002).

A partir del material cartográfico digitalizado se elaboró el Modelo Digital del Terreno (MDT) en una red regular con espaciamiento de 50 metros (Figura 3). Esto determinó diferentes esquemas cualitativos y morfométricos, red de drenaje (Figura 4), los que aportaron información geomorfológica, la cual potenció la interpretación de los sensores remotos.



**Figura 3. Modelo Digital del Terreno**

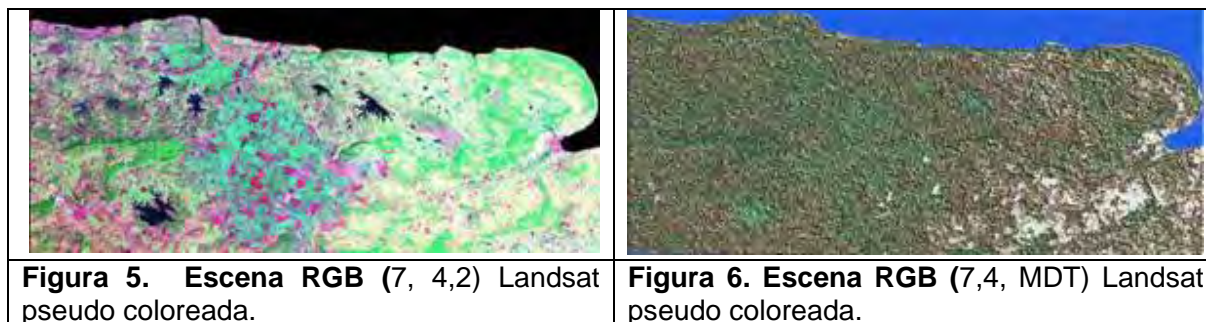


**Figura 4. Modelo Digital del Terreno sombreado con la red de drenaje superpuesta.**

Se trabajó con una imagen LandSat 7 ETM+ Bandas 7,4,2 (R,G,B), Pan Sharpened Path 15/ Row 44 30 de Julio 2000 orthorectificada en GEOcover OrthoTM Scene y GTOPO30



Lambert Conformal Conic Projector Clarke 1866 Spheroid. Esta imagen fue georreferenciada de la Proyección WGS84 a la Proyección Cónica Conforme de Lambert, Esferoide Clarke 1866, NAD27 de Cuba. Se realizó el mosaico y se cortó el mismo según una máscara que incluye a la Franja Norte de Occidental de Crudos pesados de Cuba (Figura 5).

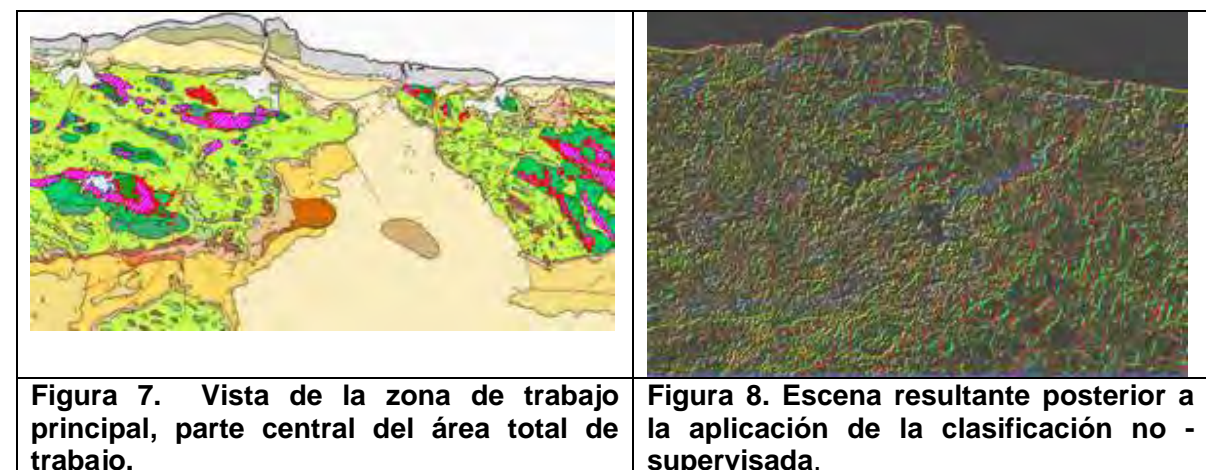


La selección de esta combinación espectral RGB (7,4,2) de manera primaria nos da una respuesta espectral de la superficie de área estudiada aunque se observan efectos de la vegetación que pueden enmascarar las características geológicas y estructurales.

Para contrarrestar en parte este efecto procedimos a sustituir el canal 2 por el modelo digital del terreno, acción que constituyó un buen efecto de realce de la imagen con respecto a los elementos tectónicos (Figura 6).

## DISCUSIÓN.

Se escogió una vista que comprendía la parte oriental del sector occidental y la parte delantera del sector oriental (Figura 7), por varias razones: (1) Prioridad de esa zona para la exploración gasopetrolífera, (2) zona de cambio de las direcciones estructurales enunciadas por los métodos tradicionales, (3) reducción del área de trabajo.

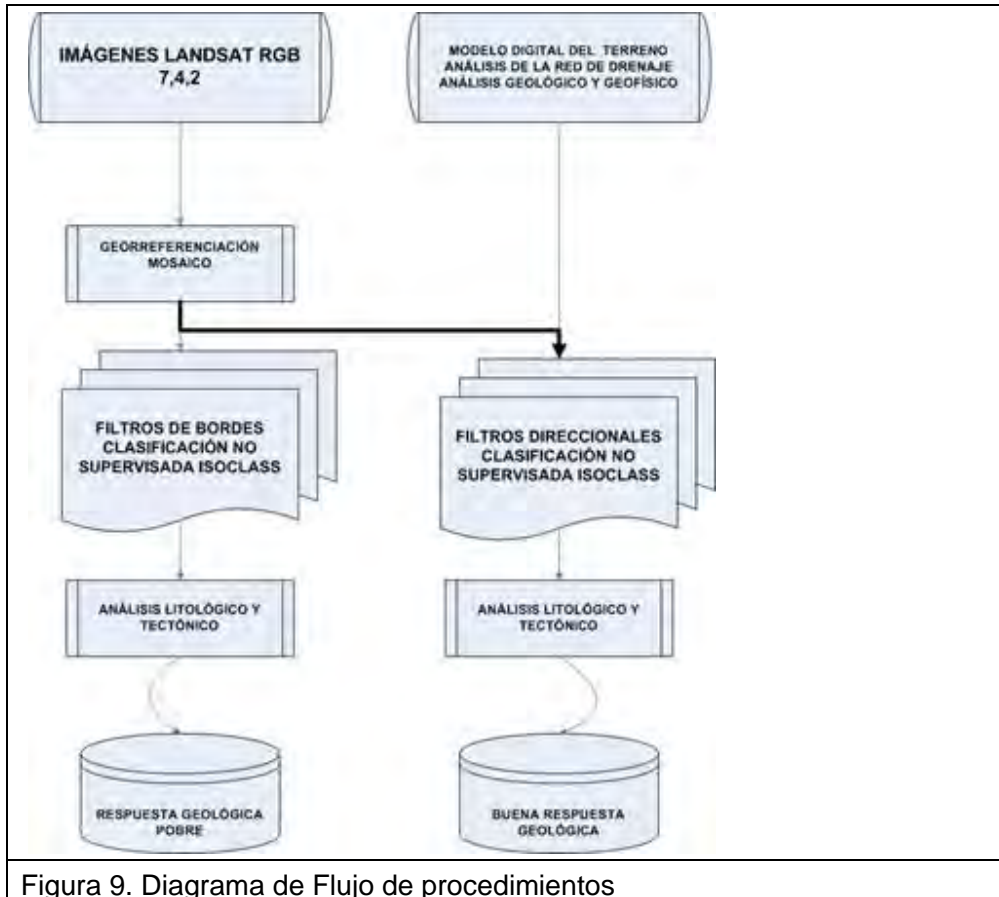


Se aplicaron principalmente dos procedimientos (Figura 9). El primer procedimiento correspondió a las combinaciones de bandas RGB 7, 4 y 2 donde se aplicaron filtros de bordes para efectuar análisis tectónicos y clasificación no supervisada con el algoritmo





ISODATA para delimitar grupos homogéneos dentro de la imagen. Con este procedimiento no pudimos alcanzar soluciones que aportaran elementos significativos en nuestro análisis.



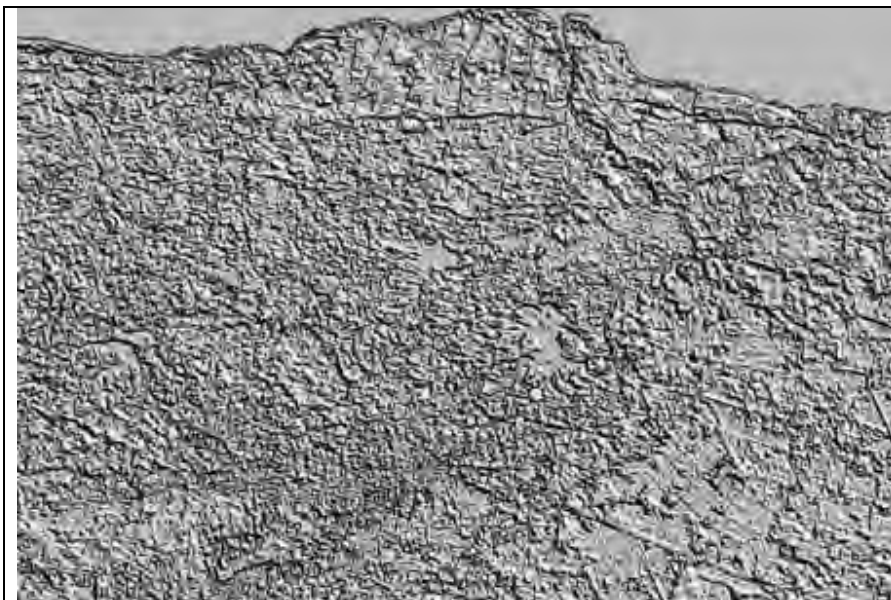
En un segundo procedimiento se incluyó el modelo digital del terreno (MDT) en el canal del espectro visible 2. Se aplicó la clasificación no supervisada ISODATA (Figura 8) donde no pudimos asociar las clases encontradas a objetos geológicos de interés, pero sí lineamientos de interesantes para la exploración (Chuvieco, 1996).

Aplicamos a la escena obtenida de la clasificación, procedimientos de filtrado de bordes, y filtrado direccional (Figura 10) con los pudimos definir mejor los elementos estructurales asociados a las rocas de la asociación ofiolítica que nos interesan destacar.

Se pudo detectar (1) estructuras elevadas (con la ayuda de los residuales gravimétricos y anomalías altimétricas y en función de las características de la red de drenaje) atribuidos a la tectogénesis con efecto sobre las trampas, por lo que estas tienen un reflejo en la superficie actual del terreno, (2) tectoalineamientos asociados a fallas de cabalgamiento, que se alinean en dirección perpendicular a la dirección del esfuerzo principal cubano NW, en la etapa de tectónica compresiva y los de dirección NE, asociados a las fallas rumbo deslizantes responsables de la migración del petróleo (Figura 11). En el caso de



las áreas donde afloran las serpentinitas, se pudieron seleccionar lugares, dentro de los máximos gravimétricos, donde se supone exista una buena fracturación relacionada a la



**Figura 10. Escena resultante de la aplicación de los procesos de mejoramiento de la clasificación no supervisada mediante filtros direccionales y bordes.**

densidad de los tectoalineamientos y mejoramiento de las capacidades gasopetrolíferas. En los casos donde las ofiolitas están cubiertas, se seleccionaron los lugares donde los bajos valores de densidad de tectoalineamientos indican una buena conservación de los sellos (Figura 11).



**Figura 11. Resultado de la interpretación de la información del procesamiento de imágenes, geofísica y elementos morfométricos.**



## CONCLUSIONES.

La escena RGB (7,4,2) y (7,4,MDT) después de diferentes análisis y filtrados no pudo proporcionar un buen resultado para la clasificación, para determinar alteraciones litológicas ya que la información espectral dada por la reflectancia de las rocas alteradas y la resolución de la imagen directamente ligada con las propiedades morfogenéticas de las rocas aflorantes, fueron enmascaradas por otros factores, entre ellos la cubierta forestal de la zona. La imagen de satélite potenciada por el MDT y la utilización de los campos potenciales geofísicos ayudaron extraordinariamente a la interpretación de los elementos tectónicos del área que facilitaron la exploración geológica en la búsqueda de zonas con posible potencial gasopetrolífero.

Con la utilización de los sensores remotos se pudieron ubicar áreas perspectivas ubicadas dentro de los máximos gravimétricos locales y con existencia en sus alrededores de manifestaciones superficiales de hidrocarburos. Queda la definitiva comprobación de todo esto por el aporte de la interpretación de la sísmica.

De forma general en el sector Occidental aparecen tectoalineamientos de dirección NE y NW, estructuras circulares en la dirección NW (Figura 12) y ubicados en zonas de encuentro de fallas con desplazamiento sinistral y dextral. Para el sector Oriental aparecen los elementos estructurales mencionados en el sector Occidental con la diferencia que se presenta muy bien la dirección NW, estableciéndose muy bien un sistema estructural combinado con estructuras deslizantes responsables de la migración del petróleo.

Por último proponemos llamar la atención aun más a favor de un uso mas amplio de las técnicas de los sensores remotos en nuestra esfera de trabajo.

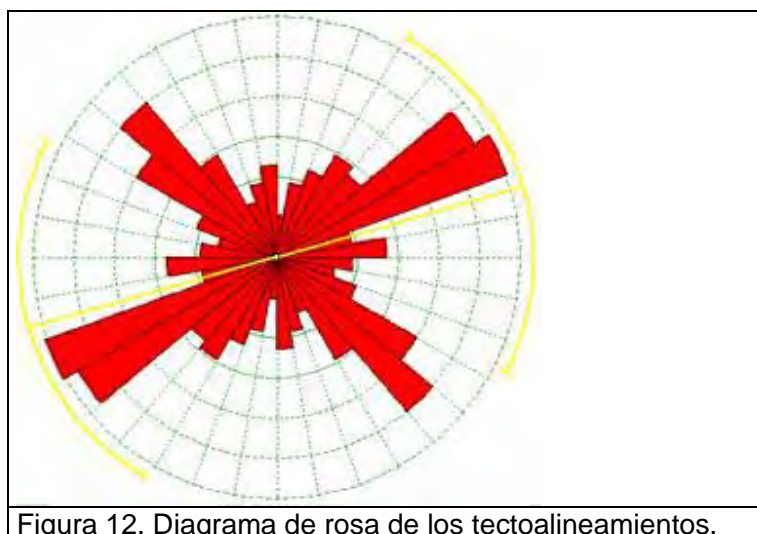


Figura 12. Diagrama de rosa de los tectoalineamientos.



## **BIBLIOGRAFIA.**

Chuvieco, E, 1996. Fundamentos de la Teledetección espacial. ISBN 84-321-3127-X

Gómez J., et. al., 1994. Pronóstico gasopetrolífero en la asociación ofiolítica cubana aplicando modelación matemática, Geofísica Internacional Vol. 33, Num. 3, pag 447-467, México,

Linares , et, al, 2003 Oil & Geosite: Atlas digital de datos de interés para la exploración petrolera de la República de Cuba, Memorias II Congreso del Científico del CEINPET.

Otero R, et, al ., 2002 Caracterización del Territorio comprendido por el Bloque 7, según su grado de perspectiva a escala 1: 50000 , Archivo CEINPET



## IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA DE CUBA (SIGEOL) EN PLATAFORMA CARIS

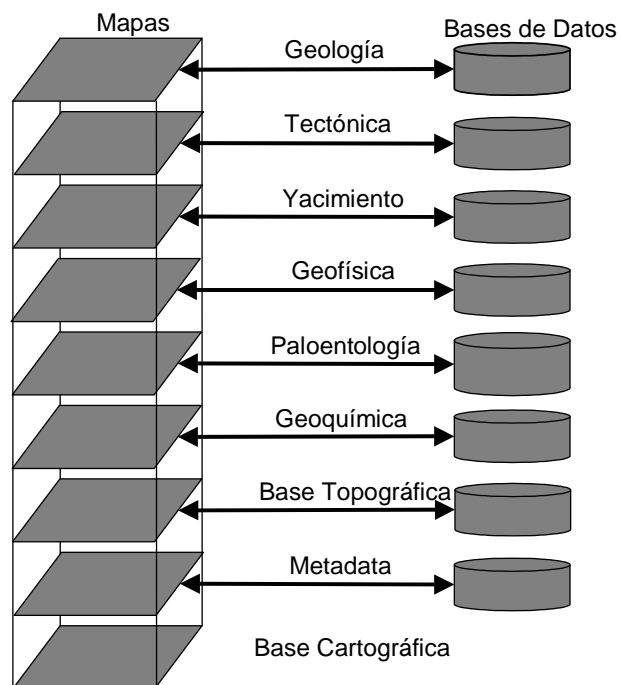
Kenya Núñez Cambra, Dalia J. Carrillo Pérez, Enrique Castellanos Abella, Bienvenido Echevarría Hernández, William Alfonso San Jorge, Guillermo Pantaleón Vento, Jesus Triff Oquendo, Adriana Rosa Romeu.

*Instituto de Geología y Paleontología*

Con el objetivo de diseñar múltiples aspectos que se deben tener en cuenta para llevar a una estructura única de Sistema de Información Geográfica, los diferentes conjuntos de datos que se manipulan en la actividad geológica, se llevó a cabo el proyecto "Diseño del Sistema de Información Geológica de Cuba Escala 1:100 000 (SIGEOL)".

Tomando como base el diseño creado se implementó el Sistema de Información Geológica de Cuba (SIGEOL) en plataforma SIG-CARIS, por contar nuestra Institución con la licencia de operaciones de dicho Sistema. En la implementación se mostró la flexibilidad de los requerimientos del diseño previo.

El Sistema contiene las informaciones digitales de los diferentes subsistemas: geología, tectónica, yacimientos, geofísica, paleontología, geoquímica, entre otras. Tiene además una base de datos espaciales y no espaciales única de donde todos los proveedores y usuarios se nutren de información y a la vez la enriquecen. Se muestra un menú personalizado del sistema en idioma Español, que permite interactuar con la parte espacial y no espacial por hojas y entre las temáticas. Con el uso del Sistema se logra mejorar la eficacia y eficiencia en la manipulación de la información y en la entrega de productos. Además ofrece la posibilidad de crear nuevos escenarios y nueva información a partir del conocimiento de los expertos, que puede en un futuro formar parte del mismo. Entre las ventajas del sistema está su salida cartográfica, pues cuenta con una biblioteca asociada con todos los símbolos estandarizados para cada objeto geológico, creada en CARIS.



**Partes componentes del Sistema de Información Geológica de Cuba  
a escala 1:100 000**



## DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE PAGINA WEB PARA LA IDE DEL IGP

**Dalia J. Carrillo Pérez, Kenya Núñez Cambra**

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril. San Miguel del Padrón  
Ciudad de La Habana. Email. [dalia@igp.minbas.cu](mailto:dalia@igp.minbas.cu); [kenya@igp.minbas.cu](mailto:kenya@igp.minbas.cu)*

### Resumen

La importancia de la información geoespacial digital crece por día a la par del desarrollo de la tecnología de computo. La producción de la IG va en aumento y se acumula gran cantidad de información generada por los proveedores de datos que no tienen su uso debido por la falta de divulgación, creando como consecuencias entre otras cosas la generación duplicada de información e incrementando los costos.

El presente trabajo nos muestra el diseño de un prototipo de pagina Web para dar a conocer la información geoespacial digital del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) dentro del marco de su infraestructura de datos espaciales (IDE).

Se definen los componentes principales de la Infraestructura de Datos Geoespaciales de la Geología (IDEG): Datos fundamentales (datos focos y temáticos), los metadatos y un ejemplo de catalogo así como el servicio que se brindara en esta etapa, que es el de correo, para contactar en caso que algún usuario este interesado en alguna información.

La pagina Web de IDEG estará vinculada al portal del IGP que se encuentra en esta primera etapa de trabajo en una Intranet local y el Portal de la IDERC

### ABSTRACT

The main objective of the present paper is to design a prototype of Web Page to show the geospatial information of the Institute of Geology and Palaeontology (IGP) inside the framework of its spatial data infrastructure (SDI).

The fundamental aspects for building a Web page (Objectives, audience, political etc.) are described. The main components of the Geospatial data infrastructure to Geology: fundamental data (data focus and thematic), metadata and services are defined as well.

Web page of Geospatial data infrastructure will be linked to website of the IGP that is in this first stage in a local Intranet.

### INTRODUCCION

Una de las dificultades mayores con que cuenta la comunidad de usuarios de datos geoespaciales digitales, es el no contar con un mecanismo rápido y eficiente que le permite conocer sobre la existencia de la información que se produce por los diferentes proveedores de información geográfica (IG) en formato digital.

La importancia de la información geoespacial digital crece por día a la par del desarrollo de la tecnología de computo. La producción de la IG va en aumento y se acumula gran cantidad de información generada por los proveedores de datos que no tienen su uso debido por la falta de divulgación, creando como consecuencias entre otras cosas la generación duplicada de información, incrementando los costos.

La pagina Web es una vía rápida y directa para que los proveedores de datos divulguen sus geodatos teniendo en cuenta que el valor del dato esta en su uso.





Una pagina con una estructura jerárquica bien establecida, con los elementos bien distribuido y un estilo atractivo.

La organización de la información digital en una institución proveedora de geodatos se logra a través de la construcción de una IDE sostenida en los estándares nacionales e internacionales, llevando a la audiencia (usuario) toda la información que produce para dar un uso optimo a su información.

## MATERIALES Y METODOS

En la sociedad de la información los centros generadores de geoinformacion tienen en las paginas Web una herramienta necesaria para la comunicación y divulgación de sus productos.

Para la confección de la pagina Web contamos con los productos geoespaciales digitales generados por nuestra institución tales como: los mapas geológicos y los mapas temáticos a diferentes escalas, las bases de datos creadas por las distintas especialidades; mineralogía, petrográfica, recursos minerales, geofísica etc. El programa seleccionado para editar la pagina Web fue el FrontPage, de la familia Microsoft Office 2000 de uso generalizado.

Las herramientas que se utilizaron para gerenciar la pagina Web, comprendió el inventario de los recurso con que contábamos, la guía de estilo, la política y los procedimientos (Urra 1998)

## Desarrollo de la Página Web

Los primeros pasos a seguir en el diseño de una pagina Web se encuentran los siguientes conceptos.

La **Misión** es dar a conocer la información geoespacial digital con que cuenta nuestra institución. Su objetivo principal es obtener información rápida y efectiva sobre todos geoespaciales digitales de la actividad geológica.

La **audiencia** serian todos los especialistas de la geociencia que trabajan con SIG y con un requerimiento mínimo de Internet explore. Como **política** se estableció que cada departamento tendrá preparado la información según los estándares establecidos por la institución.

La pagina Web tiene un **estilo** bien estructurado, propio, con un diseño lógico y adecuado (ver Figura 1).

Presenta el logo de la institución y un cintillo en la parte superior que responde al tema en cuestión de la IDE.

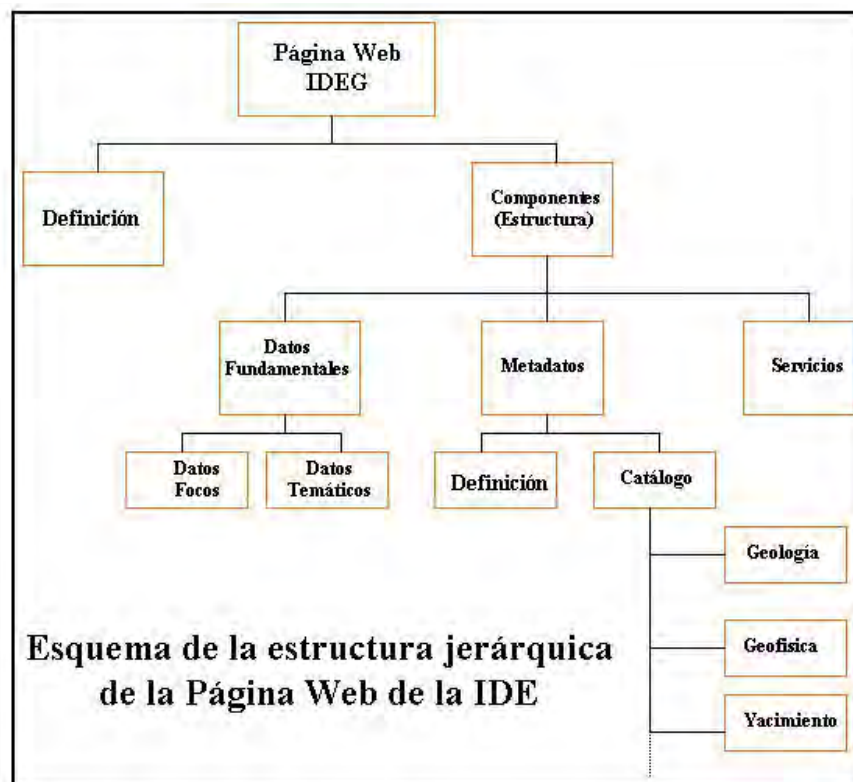


Figura 1 Estructura jerárquica de la IDE-IGP

### **Que es la IDE?**

El termino Infraestructura de datos espaciales nos indica la acumulación importante de tecnologías, normas y planes institucionales que facilitan la disponibilidad y el acceso a los datos espaciales. Nos proporciona además una plataforma para el descubrimiento de los datos con evaluación y en algunos casos con aplicaciones para los usuarios y proveedores de datos a los diferentes niveles ( Recetario IDE 2001)

El termino infraestructura nos da la idea de una elemento de soporte sólido, que sostiene toda una armadura, en este caso es el marco que encierra la información de una organización.

La IDE representa mas que una simple base de datos con sus atributos que la caracterizan. La conforman un grupo de componentes que hacen de ella un medio idóneo para la organización de la información a todos los niveles institucionales, permitiendo a través de sus disposiciones el intercambio y la interoperabilidad de los datos. Es un medio idóneo de descubrir, visualizar y valorar los datos mediante uno de sus componentes el catalogo de metadatos.

### **Componentes de la IDE.**

La IDE tiene una serie de componentes principales que la caracterizan tales como; los datos fundamentales, el catalogo de metadatos, el clearinghouse, las disposiciones legales y los servicios adicionales que brinda.

En esta primera etapa nuestra IDEG presentara los datos fundamentales, el catalogo de metadatos y un servicio a brindar que es el de tener la posibilidad de contactar con el proveedor (Figura 3).

### Datos Fundamentales (Marcos)

Los datos fundamentales con que trabaja nuestra institución los hemos dividido en datos focos y datos temáticos (Figuras.2 ).

#### Datos Focos

Los datos foco corresponde a toda información básica necesaria para la confección de un mapa dentro de una aplicación SIG que necesita de un numero limitado de datos geospaciales comunes, estos son: los puntos de control geodésico, las curvas de nivel, las redes hidrográficas, las redes de transporte, las coordenadas del trapezoide etc.

#### Datos Temáticos

Los datos temáticos son toda la información derivada de las diferentes especialidades de la actividad geológica, geología, geofísica, yacimiento, mineralogía, petrográfica etc.

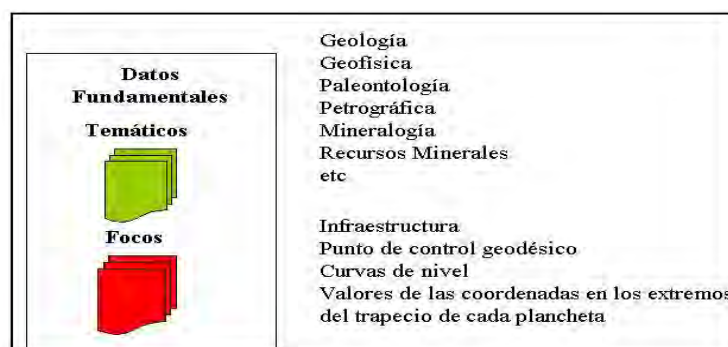


Figura.2 Componente de la IDE: Los datos fundamentales

#### Metadato

Que es un metadato?

Usualmente se define como " datos sobre datos ", pero esta definición es muy simple y enmascara su potencialidad y complejidad.

Los metadatos que tiene las siguientes funciones:

mantener una organización interna en cuanto a los datos geospaciales ; proporcionar información sobre datos entrelazados (relacionados) para un catalogo de datos y clearinghouse; proporcionar la información necesaria para procesar e interpretar datos que pueden ser recibidos o transferidos a una fuente externa (Figura 4) .

La importancia del Metadato esta dada por sus múltiples propósitos entre ellos a la de responder a las siguientes interrogantes:

- Qué son los datos? Define al conjunto de datos.
- A quién contactar sobre los datos? Persona o institución que tiene los datos.



- De dónde los datos son originarios? (los componentes geográficos).
- Cuándo los datos fueron publicados?
- Cómo (y porqué) los datos fueron colectados? Incluye la calidad, proceso y uso

En el catalogo de datos se encuentran los metadatos de las diferentes especialidades, donde se recogen la información para la identificación del conjunto de datos, la calidad, las condiciones para su acceso y a quien contactar para obtener los datos entre otras.

El metadato es un excelente elemento para la búsqueda a partir de la información que posee. El beneficio principal del catalogo, es la de ejercer la función de un inventario de la información de la institución y describiendo los recursos de manera completa, ayuda a la mejora de la productividad interna, reducen la duplicación de esfuerzos, facilita su reutilización y es clave en la gestión de los datos.

### Servicios

La pagina Web de la IDEG se insertara al Portal de IGP, en esos momentos tiene su funcionalidad a través de la intranet local, pudiendo ser de beneficio a los especialistas de nuestra institución y a aquellos que visiten nuestro Centro de Información. Contara con un servicio de correo para que el usuario se comuniquen si esta interesado en algún producto que se encuentre en el catalogo.

### Vistas principales de la Página Web



Figura. 3 Pagina principal con el contenido y sus hipervínculos



Figura 4. Los Metadatos Geoespaciales Digitales

## CONCLUSIONES

1. La utilización de la página Web como herramienta para facilitar el conocimiento sobre la información digital con que cuenta la institución, es un salto tecnológico vinculado a la búsqueda y divulgación de la misma.
2. El usuario tendrá de forma mas rápida y eficiente información sobre cualquier producto geoespacial digital que quiera utilizar en determinada aplicación.

## BIBLIOGRAFIA

- Bas Kok; Bastiaan van Loenen, (2004). How to assess the success of National spatial Data Infrastructures. Computer environment and Urban System. [www.elsevier.com/compenvurbsys](http://www.elsevier.com/compenvurbsys)
- Marques, Pere (1998) Criterios para la clasificación y evaluación de espacios Web de interés educativo.
- Tapia Rodríguez, Lily (2004) Nociones elementales para el diseño de paginas Web. Conferencias



de un curso de posgrado.  
Urra González, Pedro (1998) Diseño de Sitios Web de Calidad, Informed  
Global spatial data infrastructure. El Recetario IDE (2001), <http://mercator.org>  
ISO 19115 Metadata. (2004) TC/211  
GIM Internacional (2001) US. Nacional Spatial Data Infrastructure (NSDI) : Página 36-39





## LA CREACION DEL BANCO DE DATOS GEOLOGICOS. TAREA URGENTE PARA PROTEGER EL PATRIMONIO GEOLOGO MINERO

Dr. Héctor Rodríguez Ruiz, Ing. Cesar Rosales Junco

*Empresa Geominera de Oriente, Carretera de Siboney Km 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Alturas de San Juan. Santiago de Cuba. Teléfono: (53-22) 641603, 643836. Fax: (53-22) 87130 e-mail [hrodriguez@geominera.co.cu](mailto:hrodriguez@geominera.co.cu)*

El alto nivel del conocimiento geológico de Cuba es una indiscutible conquista del Socialismo llamada a preservar.

El resultado tangible de esa conquista socialista para el conocimiento de las generaciones presentes y futuras lo constituyen los documentos bien conservados en los archivos técnicos del País, en su mayoría bajo custodia ejemplar de la Oficina Nacional de Recursos Minerales, estos fondos tienen por tanto un valor patrimonial indiscutible. El uso de esa información y su conservación ante el desarrollo actual de la informática demanda de su incorporación a soportes digitales.

La organización de un servicio capaz de cumplir con una tarea nacional de informatización del conocimiento geológico debe acometerse con la definición y creación de un órgano encargado de la administración y funcionamiento del **Banco de Datos Geológico de la República de Cuba**.

Tratar sobre las posibilidades de creación de ese órgano, su estructura y recursos materiales, lógicos y humanos para su funcionamiento es el objetivo del presente trabajo con el cual sus autores pretenden promover el debate al respecto al considerar el tema de la preservación del conocimiento geológico mediante la digitalización de los datos una tarea de alta complejidad técnica.

Se discute lo realizado hasta el momento y se presenta el estado actual de esa tarea que consideramos una función esencial de los profesionales de la Geociencias actores principales de la generación del conocimiento que se pretende conservar.



## APLICACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA A LAS CUENCAS Y POZOS HIDROGEOLÓGICOS EN LA PROVINCIA DE GRANMA

**Juan José Almirall Beltrán<sup>(1)</sup>**

(1) *Unidad Empresarial de Base de Proyectos e Investigaciones. Granma. Calle Amado Estévez No. 61 Rpto. Jesús Menéndez. Bayamo. Granma.*

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo automatizar toda la información que se dispone acerca de la evaluación de las cuencas subterráneas y pozos hidrogeológicos de la provincia, logrando así una búsqueda rápida y eficiente de la información solicitada por los usuarios.

El SIG, entre sus disímiles operaciones, permite la búsqueda compleja de información gráfica y mediante la superposición de los diferentes mapas y los datos asociados a ellas, permite crear nuevos mapas temáticos.

Por la gran cantidad de información con que cuenta nuestra entidad de los pozos hidrogeológicos y el gran deterioro debido a su uso, se llevó a cabo la recopilación de toda la información que se dispone en dos Bases de Datos, una recoge la información de los pozos y la otra las cuencas subterráneas, en las mismas se agrupan los principales parámetros hidrogeológicos como: nombre y número de la hoja cartográfica, municipio, formación geológica, cota del terreno, profundidad, nivel estático, mineralización, potencia acuífera, afloramiento, coeficiente de filtración, coeficiente de almacenamiento, composición química del agua, clasificaciones para el riego, entre otros.

Se realizó la cartografía digital de la provincia y posteriormente se preparó en un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se agiliza la búsqueda, obteniéndose una mayor rapidez en la información, calidad y precisión de los resultados.

De acuerdo a la estructura de las bases de datos se pueden realizar búsquedas, consultas, cálculos estadísticos, generación de nuevos campos y mapas temáticos de acuerdo a los intereses del usuario, impresión a escala deseada, entre otras posibilidades.

### ABSTRACT

This Work describes the automatization of the available information about the evaluation of the wells and underground basins in the province, in this way achieving an efficient and fast search of all the information needed by the users.

Among the different advantages of the GIS system we can tell that it permits to look for any complex graphic information and by means of the maps superimpose and their associated data, moreover it allows to make new thematic maps.

Due to the great quantity of hydrological information that our enterprise has in its archives and its deterioration by the continuous use, we transferred all the information available to two databases, the first has the work information and the second the underground basins, in both containing the principal hydrological parameters live: source location and name or number, geological formation, ground elevation, depth, static level, permeability coefficient, saturated thickness of aquifer, water quality, etc.

It is carried out a digital cartography of the Granma province map and with those data was made a GIS by means of which it is easy and fast in order to get the information looked for with the best quality and precision.

The results can be kept in the computer database and the users can do searches, consultations, statistic calculation, generation of new data fields and thematic map according to the user interests and could print or plot the results, besides of other possibilities.



## INTRODUCCIÓN

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema informático que sintetiza, analiza y representa muchos tipos diferentes de datos geográficos de una forma comprensible, además almacena y manipula grandes cantidades de datos espacialmente georeferenciados, por lo que es una herramienta de análisis que permite un mejor entendimiento de las actividades que se realizan sobre la superficie de la tierra.

Un SIG puede generar imágenes de un área en dos o tres dimensiones, representando elementos naturales como colinas o ríos, junto a elementos artificiales como carreteras, tendidos eléctricos, núcleos urbanos o ferrocarriles mediante puntos, líneas, figuras geométricas u otras. Los expertos utilizan las imágenes del SIG como modelos, realizan mediciones precisas, recogen datos y corroboran sus teorías con la ayuda del ordenador.

Muchas bases de datos de los SIG consisten en conjuntos de datos que se agrupan en capas. Cada capa representa un determinado tipo de información geográfica. Por ejemplo, una capa puede incluir información sobre las calles de un espacio urbano, otra sobre los suelos de esa área, mientras que una tercera puede contener los datos sobre la altura del terreno. Los SIG puede combinar esas capas en una sola imagen, mostrando cómo las calles, los suelos y la altitud están relacionados entre sí; de este modo, los ingenieros pueden por ejemplo, a partir de esa imagen, determinar si una parte concreta de una calle podría llegar a derrumbarse. Una base de datos de un SIG puede incluir un gran número de capas.

El presente trabajo tiene como objetivo automatizar toda la información que se dispone acerca de las cuencas y pozos hidrogeológicos de la provincia para una búsqueda rápida, eficiente y con calidad de la información solicitada.

Se confeccionaron dos bases de datos en Microsoft Excel, una agrupa las principales características de las cuencas hidrogeológicas y la otra los principales parámetros hidrogeológicos de los pozos.

En la misma intervienen más de 50 campos para los pozos y 20 para las cuencas hidrogeológicas

Para relacionar toda la información que se dispone tanto cartográfica como la de las bases de datos de cuencas y pozos se utilizó el Mapinfo, el cual ofrece las posibilidades para el objetivo trazado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la confección del presente trabajo se comenzó buscando en el archivo técnico de nuestra entidad, los informes correspondientes a la evaluación hidrogeológica de las reservas de explotación de las cuencas hidrogeológicas confeccionados en los años de 1994 a 1995.

Con estos informes se realizó un resumen de las 11 cuencas y los 3 tramos hidrogeológicos recopilando la mayor cantidad de datos que se tuvieran.



Posteriormente en el archivo del Departamento de Investigaciones Aplicadas se encuentran los pozos hidrogeológicos de la provincia y se procedió a la búsqueda de los mismos que estuvieran dentro de las cuencas hidrogeológicas. Con la relación de todos los pozos por cuencas, se fueron creando la base de datos.

Debido a la gran cantidad de información de los pozos hidrogeológicos con que cuenta la provincia, se preparó en un Sistema de Información Geográfica para lograr una búsqueda rápida, eficiente y con calidad.

Se seleccionaron las hojas cartográficas a escala de trabajo de la provincia y se comenzó a realizar la cartografía digital. Para la misma se digitalizó mediante el AutoCad y un Digitizador, el límite provincial, los límites municipales, las principales carreteras de interés nacional, algunas de interés provincial y municipal, los ríos más importantes, el ferrocarril, las cabeceras municipales y otros aspectos de interés de la provincia, en diferentes capas para lograr una mejor organización de la información.

Se confeccionaron dos bases de datos que agrupan las principales características de cada una de ellas, distribuidas de la siguiente forma:

**Cuencas:** Agrupa los principales datos como: autor, área, hojas cartográficas, municipios, hidrografía, formaciones geológicas, parámetros hidrogeológicos, reservas de explotación por el método de Balance e Hidrodinámico, etc.

**Pozos:** Agrupa los principales datos como: Hoja cartográfica, municipio, formación geológica, parámetros hidrogeológicos (mineralización, coeficiente de filtración, potencia acuífera, nivel estático, etc) con algunas clasificaciones, composición química del agua, coeficientes e índices de agua para el riego con sus clasificaciones, entre otros.

Las bases de datos se confeccionaron en Microsoft Excel, ya que generalmente lo trabaja una mayor cantidad de personas, con un mínimo de conocimiento, que los programas de bases de datos como Microsoft Access, Delphi, FoxPro, etc.

Toda la información de la cartografía digital preparada y las bases de datos creadas con toda la información posible de las cuencas y los pozos hidrogeológicos, se llevó al sistema de coordenadas nacionales.

Posteriormente se carga en Mapinfo toda la información tanto de la cartografía digital como las bases de datos y se procede a realizar la búsqueda de información, consultas, resultados estadísticos, generación de mapas temáticos, entre otros.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las aplicaciones de un SIG son amplias y continúan creciendo. Al utilizar un SIG, los científicos pueden investigar los cambios producidos en el medio ambiente; los ingenieros diseñar, por ejemplo, sistemas de carreteras o determinar cuál es el mejor emplazamiento para los centros emisores de radio; los gobiernos controlar los usos del suelo; y los departamentos de policía y de bomberos planificar rutas de emergencia. Muchos hombres



de negocios particulares han comenzado a utilizar los SIG para planificar y mejorar los servicios de sus empresas.

En nuestra entidad constantemente se están solicitando información de los pozos y cuencas hidrogeológicas para la confección de proyectos de acueductos a las cabeceras municipales, comunidades rurales e investigaciones por parte de clientes internos (talleres productivos) y externos para la ubicación de pozos de abasto y otros.

Con la implantación del sistema de información geográfica la búsqueda es más rápida y eficiente a la altura de estos tiempos modernos, donde la información fluye a gran velocidad, rapidez y precisión.

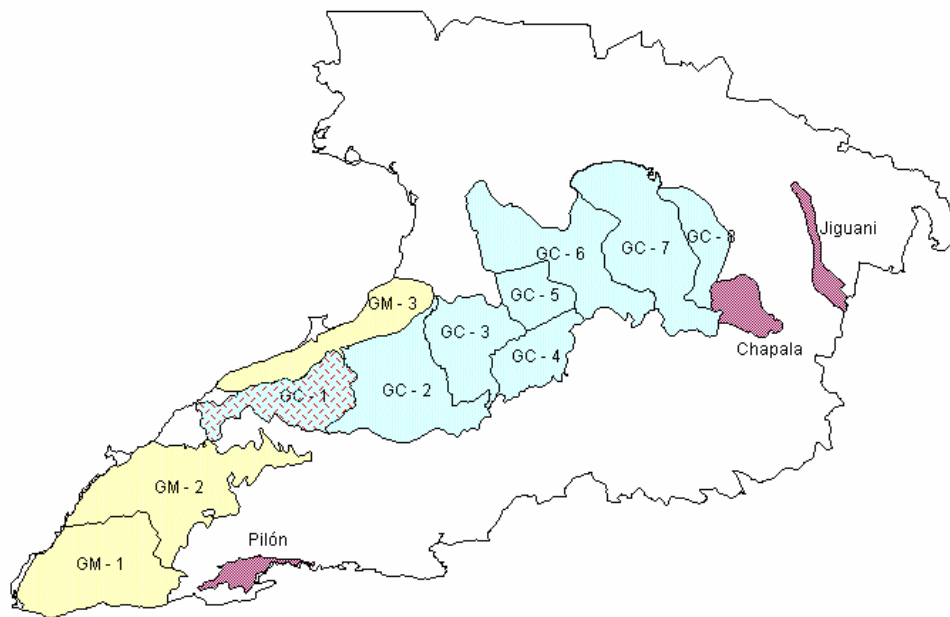
Con la cartografía digital de la provincia, municipio o área de estudio en pantalla, la ubicación de los pozos y las cuencas hidrogeológicas se carga con el MapInfo y se procede a la búsqueda de información mediante diferentes opciones Software.

A continuación se muestran algunas de las opciones para la búsqueda de información:

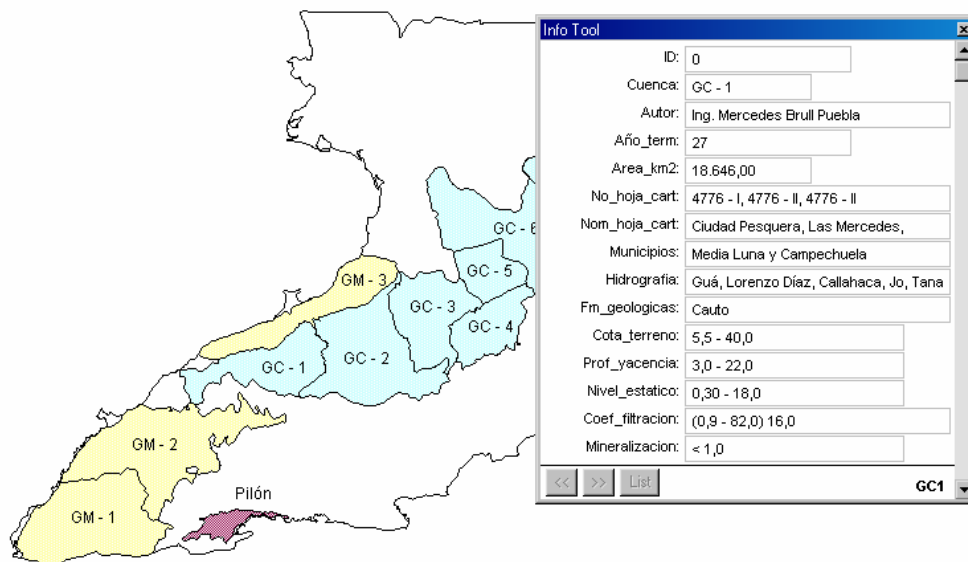
- Buscar y seleccionar una cuenca hidrogeológica.
- Información de la cuenca hidrogeológica.
- Seleccionar un pozo dentro de la cuenca hidrogeológica.
- Información del pozo seleccionado.
- Cálculos estadísticos de la información de los pozos.
- Consultas asignando condiciones en las bases de datos.
- Generar un mapa temático de punto con la mineralización.

## CONCLUSIONES

1. Con la implantación del Sistema de Información Geográfica se logra una mayor rapidez, agilidad y precisión en la búsqueda de información de los pozos y cuencas hidrogeológicas
2. Se logra unificar toda la información posible de los pozos y cuencas hidrogeológicas en bases de datos.
3. Se realizan consultas con varias bases de datos para obtener la información deseada.
4. Permite obtener resultados estadísticos en las bases de datos de un pozo o un grupo de pozos de uno o varios municipios.
5. Permite generar una gran cantidad de mapas temáticos con los distintos campos de la base de datos.
6. Mantiene actualizada la información.
7. Impresión de la información en diferentes mapas a la escala deseada con una mayor rapidez, calidad y precisión de los resultados.

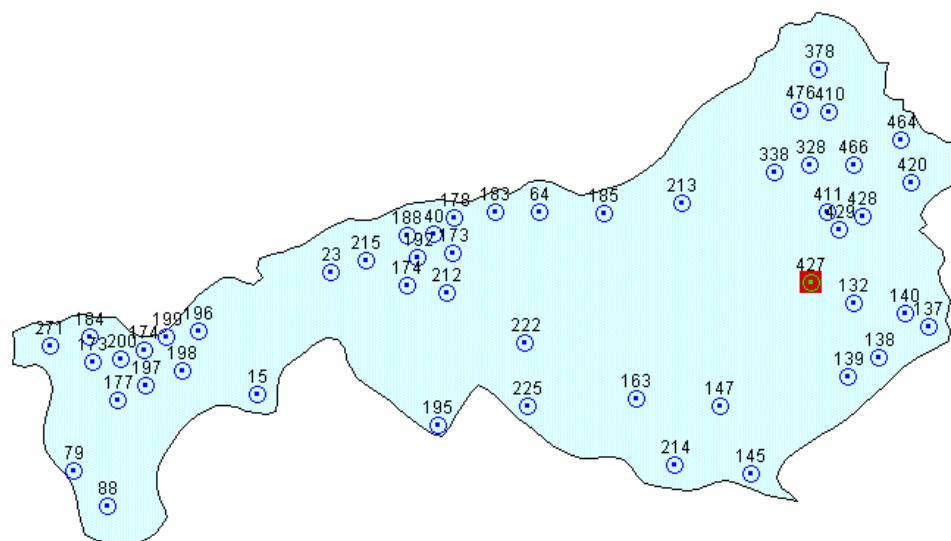


Anexo No. 1. Buscar y seleccionar una cuenca hidrogeológica.

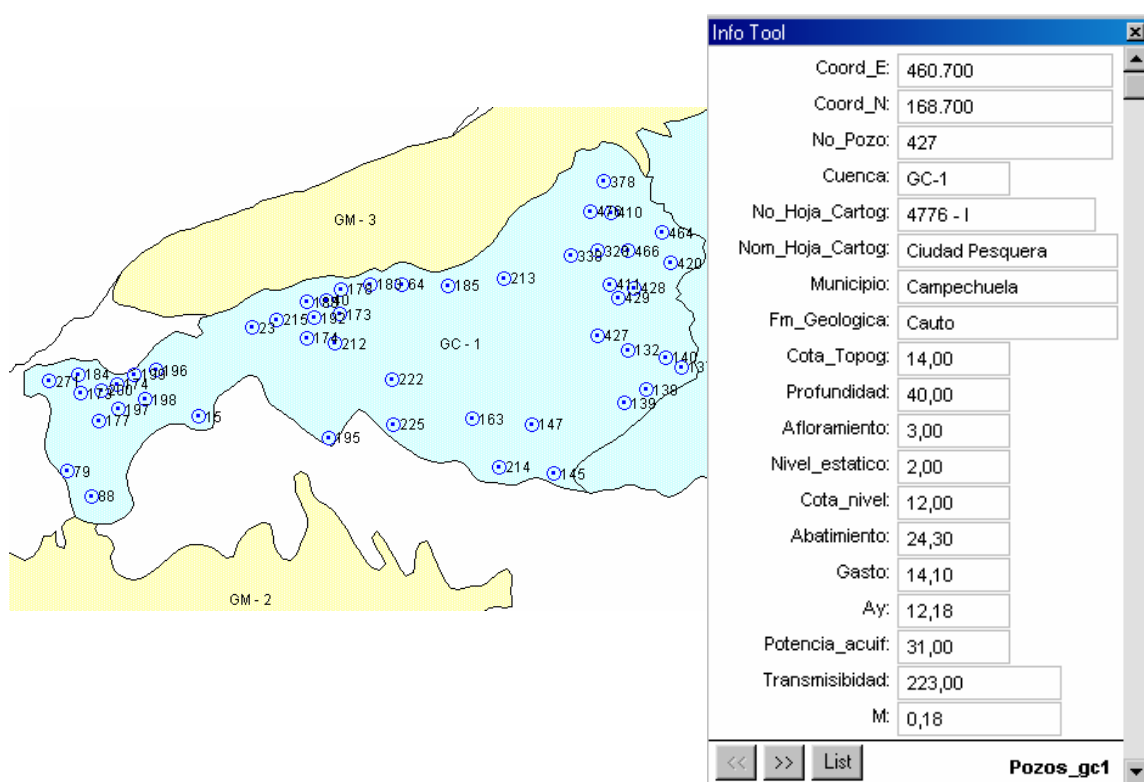


Anexo No. 2. Información de la cuenca hidrogeológica.

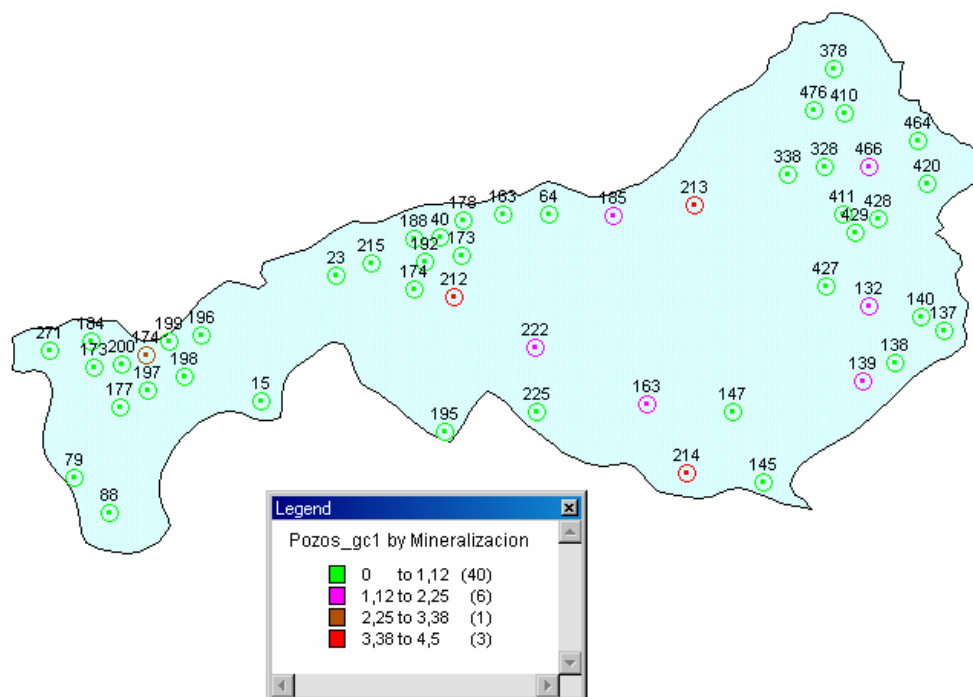




Anexo No. 3. Seleccionar un pozo hidrogeológico dentro de la cuenca GC-1.



Anexo No. 4. Información del pozo seleccionado.



Anexo No. 5. Mapa temático de punto con la mineralización en la cuenca GC-1.



## MAPGRID: UTILITARIO PARA LA CONFECCION AUTOMATIZADA DE LA RED DE COORDENADAS DE UN MAPA

**Jesús Triff Oquendo**

*Instituto de Geología y Paleontología .Vía Blanca #1002 y prolongación de la Carretera Centra. San Miguel del Padrón. Código Postal 11000. Ciudad de La Habana Cuba. Email: [triff@igp.minba.cu](mailto:triff@igp.minba.cu)*

### RESUMEN

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón. Ciudad Habana. Email; [triff@igp.minbas.cu](mailto:triff@igp.minbas.cu)

En el país son numerosos los organismos que utilizan el AutoCAD para la confección de sus mapas y planos. Uno de los aspectos comunes que comprende la creación de uno de estos gráficos es que deben contar con bordes geográficos, grid y/o cruces, textos de coordenadas, escalas gráficas, cajetín, etc. La confección de estos elementos en un plano conlleva una inversión de un tiempo considerable por parte del operador de AutoCAD que debe ejecutar la tarea auxiliándose de las herramientas propias de este software.

MAPGRID es un programa diseñado para ejecutar automáticamente las tareas mencionadas en el párrafo anterior, pero de forma mucho más eficiente. El software, diseñado en Visual Basic, confecciona a partir de algunos datos ofrecidos por el usuario un fichero en código ASCII (script) que se ejecuta mecánicamente sobre AutoCAD. Los datos necesarios que debe suministrar el usuario son sólo las coordenadas planas (2 o 4 puntos según sea el caso) y la escala del mapa.

El trabajo expone los formularios que componen el programa y una breve explicación de cómo funcionan los mismos. También realiza una breve comparación con otro programa creado hace algunos años (GEOEDIT) con el mismo objetivo, destacando las ventajas que MAPGRID tiene sobre dicho software.

La plataforma Windows, sobre el cual corre el programa, y su configuración simple permite que su manipulación sea amigable y de fácil acceso para cualquier usuario.

### ABSTRACT

In Cuba numerous entities uses AutoCAD for the making of its maps and planes. One of the common aspects that have these graphics are the geographical borders, grid y/o crossings, texts of coordinated, graphic scales, small box, etc. The making of these elements of a plane bears an investment of a considerable time on the part of the operator of AutoCAD that should execute the task being aided of the tools characteristic of this software.

MAPGRID is a program designed to execute the tasks mentioned in the previous paragraph automatically, but in a much more efficient way. The software, designed in Visual Basic, makes starting from some data offered by the user a file in code ASCII (script) that is executed mechanically on AutoCAD. The necessary data that the user should give are only the plane coordinates (2 or 4 points as it is the case) and the scale of the map.

The work exposes the forms that compose the program and a brief explanation of how the same ones work. It also carries out a brief comparison with another program created some years ago (GEOEDIT) with the same objective. The advantages that MAPGRID has on this software are highlighting.

The platform Windows, on which the program runs, and its simple configuration allows that its manipulation is friendly and of easy access for any user.



## INTRODUCCION

El AutoCAD es un programa ampliamente utilizado en nuestro país para la confección y edición de diferentes tipos de mapas. Dichos mapas por lo general cuentan con una red de coordenadas, cajetín, escala gráfica y otros tipos de información marginal. Estos aspectos del mapa son confeccionados manualmente por el operador de AutoCAD, auxiliándose de diferentes herramientas del programa, ya que el software no posee una opción que lo permita hacer de forma automática. La confección manual de estos elementos del mapa conlleva una gran cantidad de tiempo y por tanto un encarecimiento del costo del mapa.

El Instituto de Geología y Paleontología posee desde hace algunos años un programa llamado GEOEDIT que realiza la confección automatizada de algunos de los elementos de información marginal de un mapa, pero con limitaciones apreciables que impiden su uso generalizado. Por tales motivos se procedió a la confección de un programa que permitiera cumplir con los objetivos de automatización de los elementos mencionados y que eliminara las limitaciones que presentaba GEOEDIT.

## MATERIALES Y METODOS

MAPGRID, no es un programa complejo y está confeccionado en Visual Basic (Versión 5). El mismo consta de 3 formularios. El primer formulario (Figura 1) constituye la presentación del programa y a la vez la selección de la cantidad puntos de coordenadas que limitan al mapa o plano, que pueden ser de 2 o 4 puntos. En el caso de planos perfectamente rectangulares, solo son necesarios los puntos inferior izquierdo y superior derecho, en caso contrario se deben introducir las coordenadas de los 4 puntos de las esquinas del plano. En dependencia de la selección realizada se presentará un nuevo formulario (Figura 2) donde se le solicita al usuario determinadas informaciones sobre el mapa, así como se le permite seleccionar varias opciones que conformarán su plano. Dentro de las informaciones solicitadas son de carácter obligatorio:

- a) la selección del fichero de trabajo
- b) las coordenadas de los límites del mapa
- c) la escala del mapa
- d) la opción "coordenadas" (del cuadro "Selección")

El programa está diseñado de forma tal que guía al usuario para que estas informaciones no sean obviadas. Esto se realiza mediante la deshabilitación de otras solicitudes y opciones hasta tanto no se concreten las obligatorias. Así, por ejemplo, cuando el formulario 2 o 3 se ejecutan todas las opciones y solicitudes están deshabilitada hasta tanto no se especifique el "fichero de trabajo".

Con la información obtenida y las opciones seleccionadas por el usuario, el programa confecciona un archivo en código ASCII de extensión ".scr" que puede ser editado en cualquier procesador de textos. El nombre del archivo es obtenido cuando el usuario indica su "fichero de trabajo", que puede ser nuevo o uno ya existente, en este último caso el archivo será sobrescrito. El fichero de trabajo puede ubicarse en cualquier directorio, pero es aconsejable ubicarlo en el mismo directorio donde se encuentra el plano o mapa al que se va aplicar.

Una vez que el programa haya concluido la confección del archivo automatizado (script), se abrirá en AutoCAD el mapa que se desea agregarle la información procesada y se hará clic en la opción "TOOLS/RUN SCRIPT" y se seleccionará el archivo creado por MAPGRID. Todas las modificaciones realizadas sobre el mapa se almacenarán en 3 capas (layers) llamadas: *Mapgrid*, *Lineagrid* y *Coordgrid*.



Fig.1 Formulario inicial de MAPGRID



Fig. 2 Ejemplo que muestra el formulario 3 del programa para la opción de 4 puntos de trabajo.

MAPGRID posee una limitada paleta de colores y no posee formato para los trazados de líneas, por lo que toma el formato implícito activo en el momento de su aplicación en AutoCAD. Estos aspectos pueden ser mejorados en futuras actualizaciones.

## RESULTADOS

Después las pruebas realizadas se pudo comprobar que las tareas automatizadas que MAPGRID puede realizar son:

- creación de marco y tips de coordenadas (opciones de colores y espaciamento)
- cruces o reticulado por coordenadas (opciones de colores y espaciamento)
- inserción de los textos de coordenadas con opciones de formatos: numeración completa o los 3 primeros dígitos, alineación horizontal o vertical y opciones de colores.
- creación de escala gráfica.
- inserción de un cajetín

Asimismo permite dejar un espacio a la derecha del mapa para insertar o crear una leyenda u otros textos o gráficos que se desee.

## DISCUSION

A excepción de GEOEDIT se desconocen otros programas que realicen tareas similares a MAPGRID. Sin embargo GEOEDIT presenta algunas limitaciones que lo hacen menos eficaz. Su principal limitación es que es sólo aplicable a planos o mapas que tengan escalas 10000, 25000, 50000 y 100000 (sólo 4 escalas). Por otra parte no realiza el reticulado (grid), sólo la inserción de cruces. En sentido general MAPGRID presenta las siguientes ventajas sobre GEOEDIT:

- Posibilidad de utilizar 2 o 4 puntos para realizar el grid. GEOEDIT utiliza siempre 4 puntos de coordenadas para limitar sus planos.
- Además de cruces interiores puede trazar las líneas del grid (reticulado del mapa)
- Posibilidad de escoger colores para el trazado de líneas, cruces y textos. GEOEDIT realiza todos sus trazados y textos en color negro.



- Posibilidad de utilizar cualquier escala. GEOEDIT solo permite 4 escalas.
- Posibilidad de escoger el inicio de las coordenadas y su espaciamiento. En GEOEDIT el inicio de las coordenadas siempre es automático y su espaciamiento fijo. No se pueden variar.
- Crea un archivo *SCRIPT* independiente del mapa o plano que puede ser ejecutado cuando se desee. GEOEDIT no crea un archivo independiente, sino un nuevo gráfico.
- Ambiente mucho más amigable para la ejecución de la tarea. El programa GEOEDIT fue confeccionado en lenguaje Autolist y funciona directamente en AutoCAD. La introducción de la información que necesita para funcionar es lineal y no permite retroceso.

## CONCLUSIONES

- ❖ Las pruebas realizadas con MAPGRID con diferentes mapas a distintas escalas en el Instituto de Geología y Paleontología mostraron que el mismo funciona convenientemente. Asimismo se constató que funciona adecuadamente en AutoCAD 14, AutoCAD 2000 y AutoCAD MAP 2000.





## INFRAESTRUCTURA DE LAS BASES DE DATOS ESPACIALES EN EL PRONÓSTICO GASOPETROLÍFERO

**Julio Ernesto Gómez Herrera** <sup>(1)</sup>, **Dalia Carrillo** <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Centro de Investigación y Desarrollo del Petróleo. Washington 169, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: juliog@ceinpet.cupet.cu

<sup>(2)</sup>Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca 1002, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: dalia@igp.minbas.cu

### RESUMEN

En este trabajo tratamos de implementar y utilizar una infraestructura de datos espaciales que sirvan para el diseño un Sistema de Información Geográfica (GIS) aplicado a la exploración gasopetrolífera. Se logra la descripción y sistematización preliminar de la información acerca del contenido de las bases de datos, las metodologías procedimientos y los formatos de trabajo. La creación de una infraestructura de bases de datos en su expresión de los metadatos no existe como tal en el desarrollo de la exploración petrolera en nuestro país. Con su implementación tratamos de mantener un control sobre las bases de datos y aprovechar al máximo la potencialidad de la información y su interoperatividad.

Los metadatos consisten en información que caracteriza a los datos y su administración. Con ellos damos información a quién, que, cuando, donde, porqué y cómo de los datos y su estandarización se logra mediante el ajuste de los mismos a estándares OpenGIS Consortium afín al desarrollo estándar de metadatos de la International Standard Organization (ISO).

El área a la que pertenecen las metadatos está localizada en la región Norte-Oriental de la provincia de La Habana y la Norte – Occidental de la provincia de Matanzas, ubicado en el Cinturón de Crudos Pesados de Cuba. Está caracterizado por un tectonismo de tipo alpino, con intensos procesos de sobrecorrimientos de edad Jurásico Superior – Eoceno Medio, responsables de la existencia de yacimientos de hidrocarburos someros (ofiolitas fracturadas y rocas vulcanógenas sedimentarias de edad Cretácica) y mas profundos (carbonatos fracturados).

### ABSTRACT

The paper shows a spatial data infrastructure based of the design and implementation of Geographic Information System (GIS) applied to oil exploration. The information about the content of the database, procedures and formats has emerged as a critical for topics ranging from risk reduction to increased revenue. In our country, the creation of an infrastructure of spatial data (including their metadata) not been developed. Metadata is a component of spatial data infrastructure. It is developed for the first time in our project, to maintain a control of the database and to take advantage of the maximum potentiality of the information and their interoperability. Metadata used in the context of a geoinformation product, which describes quality, condition, data sources and other



appropriate characteristics of datasets by using international standards, ISO TC/211 and OpenGIS Specification.

The study area is located in the northern Havana and northwest Matanzas provinces. The main reservoir rocks related to the discovered oilfields in the continental margin are referred to the Placetas and Camajuaní tectonostratigraphic unit (fractured carbonates of Upper Jurassic – Cretaceous age). Further reservoir rocks are also present in the Zaza Terrane in fractured ophiolites (mainly gabbros and serpentinites) and volcanic rocks (basalts).

## INTRODUCCIÓN

Los metadatos son generalmente definidos como los “datos sobre los datos”, los que describen el contenido, calidad, condición y otras características de los datos. Estos ayudan a los usuarios y científicos a ubicar y entender las principales características de los datos, sin necesidad de transferirlos.

La actividad de exploración gasopetrolífera en Cuba, desgraciadamente carece de este servicio y no se posee una conciencia de su necesidad. Es paradójico, no se concibe una biblioteca sin catálogo, pero si una actividad tan importante, costosa y tecnológica como la nuestra, sin una información del “estado del arte” de sus datos.

Existe una enorme cantidad de información recopilada y desarrollada por la actividad de exploración – producción y por lo general, estos datos se utilizan en múltiples aplicaciones. Al faltar los medios y mecanismos para determinar que datos existen, sus errores, modos de acceso y su uso, no podemos evitar la duplicación de esfuerzos, falta de estandarización de la información y dispersión de estos.

Por ahora no está definido nuestro estándar o diseño de estructuras de la metadata, pero estamos estudiando la norma Content Standard for Digital Geospatial Metadata (FGCD-STD-001-1998) creada por el Comité Federal de Datos Geográficos de los Estados Unidos, materiales de la Norma Cubana NC-39-08-282 del sistema de Información y Documentación Bibliográfica y los estándares OPENGIS.

Los estándares especifican los elementos necesarios para dar soporte a los tres principales usos de los metadatos (López C, 2000):

1. Mantener la inversión interna en datos espaciales realizada por la organización
2. Proveer información a catálogos y Clearinghouses
3. Proveer información requerida para procesar e interpretar los datos transferidos desde y hacia otras organizaciones y aplicaciones.

A su vez los estándares definen la información requerida por el usuario, determinan; la disponibilidad de los datos geoespaciales, lo apropiado de un conjunto de estos para un uso específico, los modos de acceder al conjunto de datos y sirven para transferir ese conjunto de datos espaciales de la forma mas exitosa.

Podemos establecer un conjunto de terminologías y definiciones de conceptos, relacionados con los metadatos, incluyendo los nombres y definición de los elementos simples y compuestos,, la información sobre los valores que deben ser provistos para esos elementos y



cuales deben ser aquellos obligatorios.

Con el advenimiento de INTERNET y otras tecnologías de punta, se ha provocado un cambio extraordinario en los mecanismos para divulgación de la información. Aunque muchos de los usuarios y científicos continúan y continuarán prefiriendo recibir metadatos en un medio físico como el papel o hardcopy, los estándares permiten, que los productores de información usen las técnicas y formatos que mejor se ajustan a sus necesidades y las de sus usuarios. En el diseño de nuestro estándar está incluido, un enfoque inicial para una Infraestructura Nacional y un Clearinghouse petrolero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Un índice del “estado del arte” de la información dentro de una organización, está dado por el grado de madurez del manejo que posea esta. Puede ser evaluado mediante una escala donde se mide el grado de optimización, riesgo, competencia, manejo y bases de datos.

Tabla I. Modelo de madurez en el manejo de la información				
Nivel de Maduración	Procesamiento de la información	Soporte Tecnológico	Calidad	Determinación de la información
1. Base	Procesos individuales	Software no corporativo. (Hojas de cálculo etc.)	Reiteración, redundancia, calidad individual	Subjetiva
2. Manejable	Procesos individuales o en grupos separados	Soluciones dirigidas específicamente a resolver determinadas tareas	Calidad variable y buenas diseños individuales	Buena, aplicada para aplicaciones específicas
3. Corporación competente	Estandarización de los procesos de computo y consistencia en la información	Tecnología computacional integrada, pobre trabajo individual	Buena calidad, resultados dentro de normas establecidas	Medible, análisis de costo - beneficio
4. Corporación competente con riesgo controlado	Estadísticamente estable, procesos corporativos	Alto grado de automatización y servicios informáticos	Máxima calidad, resultados dentro de normas establecidas	Garantía total y operatividad. Bajo riesgo y alto valor agregado
5. Completa optimización	Procesos corporativos enteramente automatizados	Utilización de la minería de Datos y sistemas de expertos	Completa calidad, resultados dentro de normas establecidas	Garantía total y operatividad. Bajo riesgo y alto valor agregado

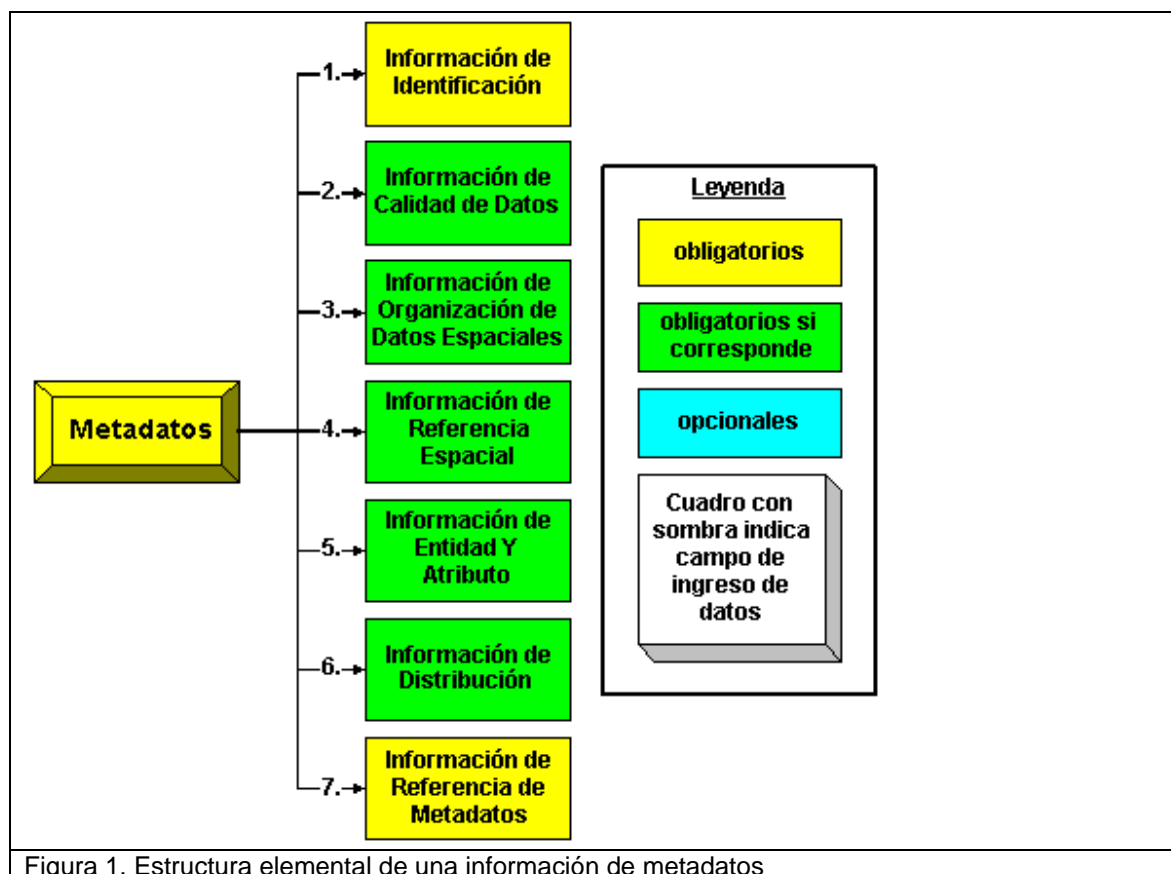
Todo esto en su conjunto indican el grado de efectividad sobre el uso de la información (D'Angelo J, 2000). Por ejemplo, un grado de madurez de nivel 5, caracterizará a una organización completamente optimizada con una sofisticada maquinaria de manejo de la Base de datos. Por el contrario una de nivel 1 (de base) representará a una organización débil e inconsistente, poco efectiva en la práctica del manejo de las bases de Datos (Tabla I).



Es imposible llegar a un alto grado de profundidad en toda la temática en este trabajo, por lo complicado y metodológico que resulta. Esto no nos impide abordar una versión del estándar de contenido para metadatos digitales geoespaciales ([Estándar de Contenido para Metadatos Digitales Geoespaciales del FGDC](#)" Versión 2 - 1998. (FGDC-STD-001 Junio 1998) del FGDC).

La organización de unos metadatos lo constituyen varios elementos Figura 1; pueden ser obligatorios, obligatorios si corresponden u opcionales según la información a la que esté dirigida. Esta contiene los siguientes subelementos:

1. Información de identificación. (Figura 2)
2. información de calidad de los Datos. (Figura 3)
3. información de la Organización de Datos Espaciales. (Figura 4)
4. Información de referencia Espacial. (Figura 5)
5. Información de Entidad y Atributo. (Figura 6)
6. Información de Distribución. (Figura 7)
7. Información de Referencia de Metadatos. (Figura 8)



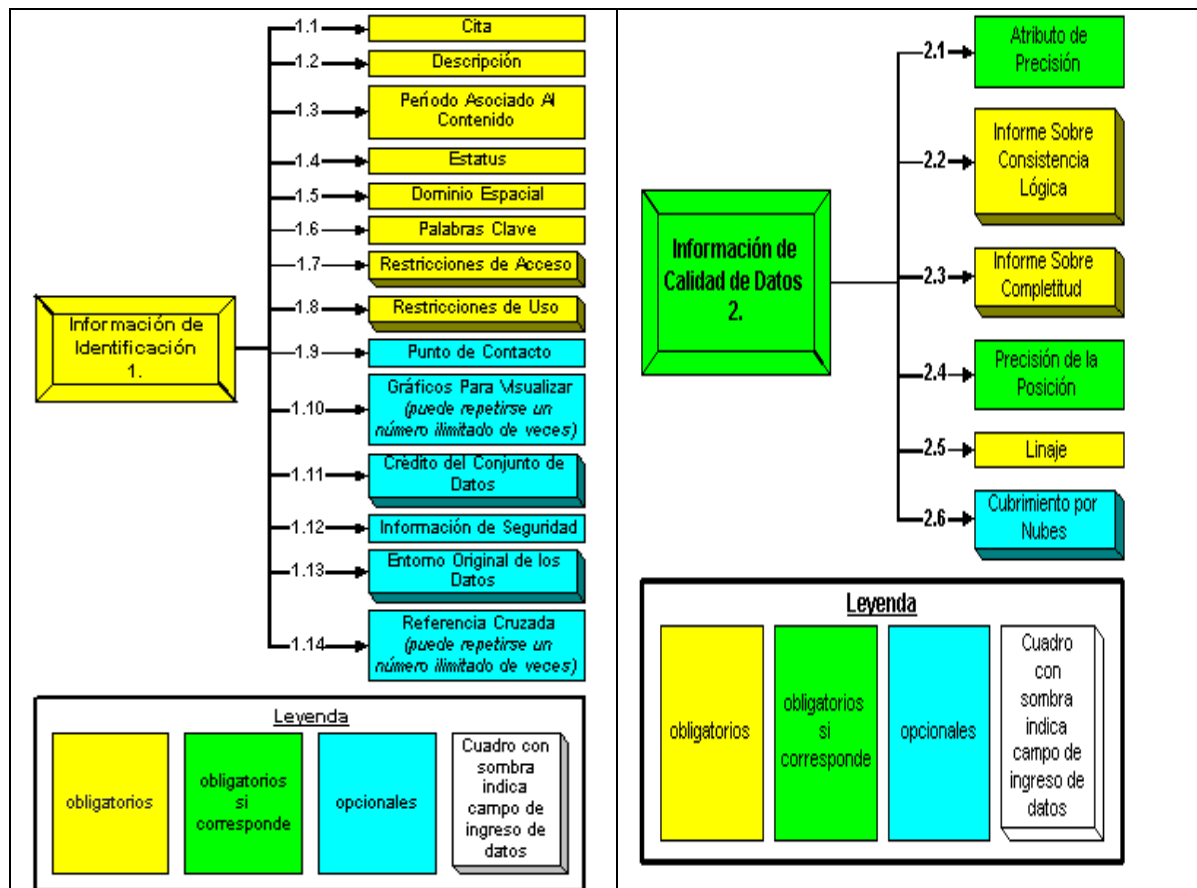
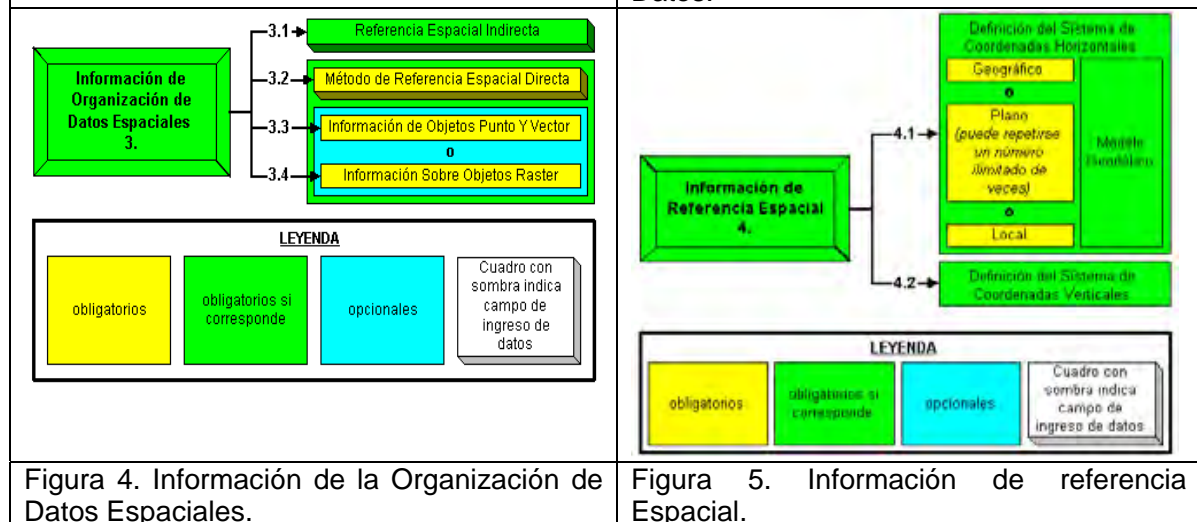


Figura 2. Información de identificación

Figura 3. Información de calidad de los Datos.



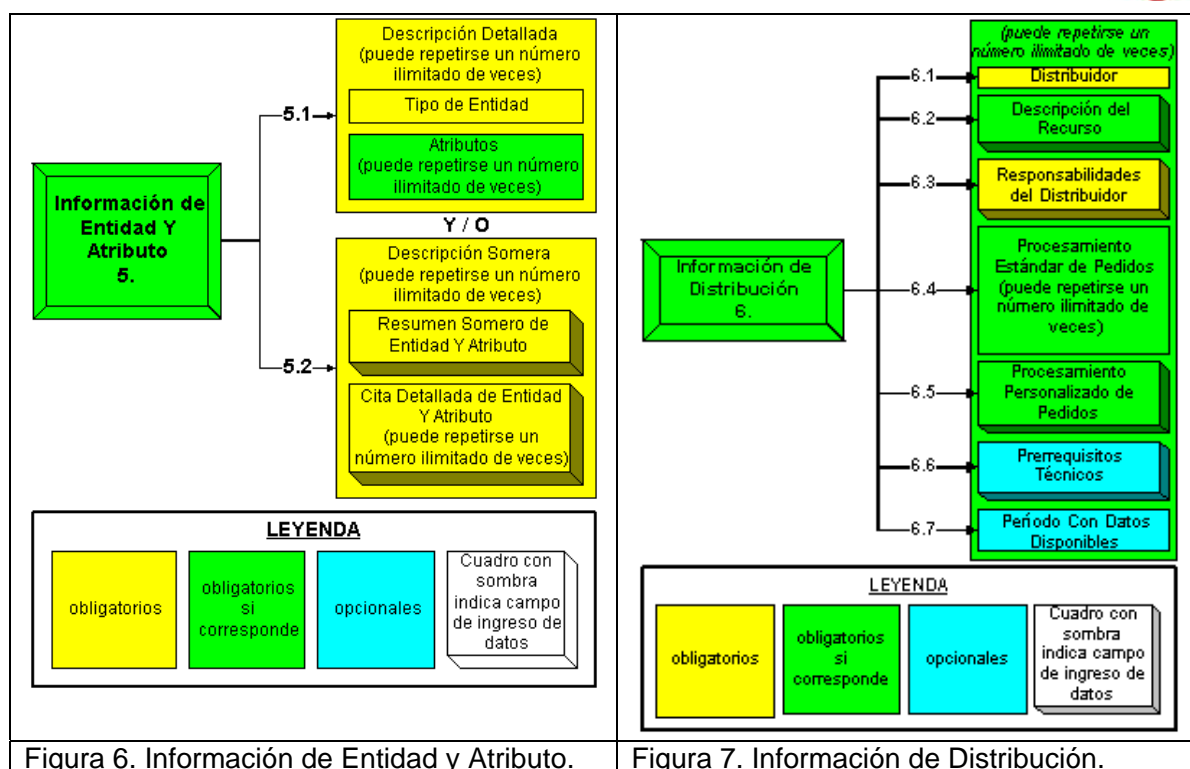


Figura 6. Información de Entidad y Atributo.

Figura 7. Información de Distribución.

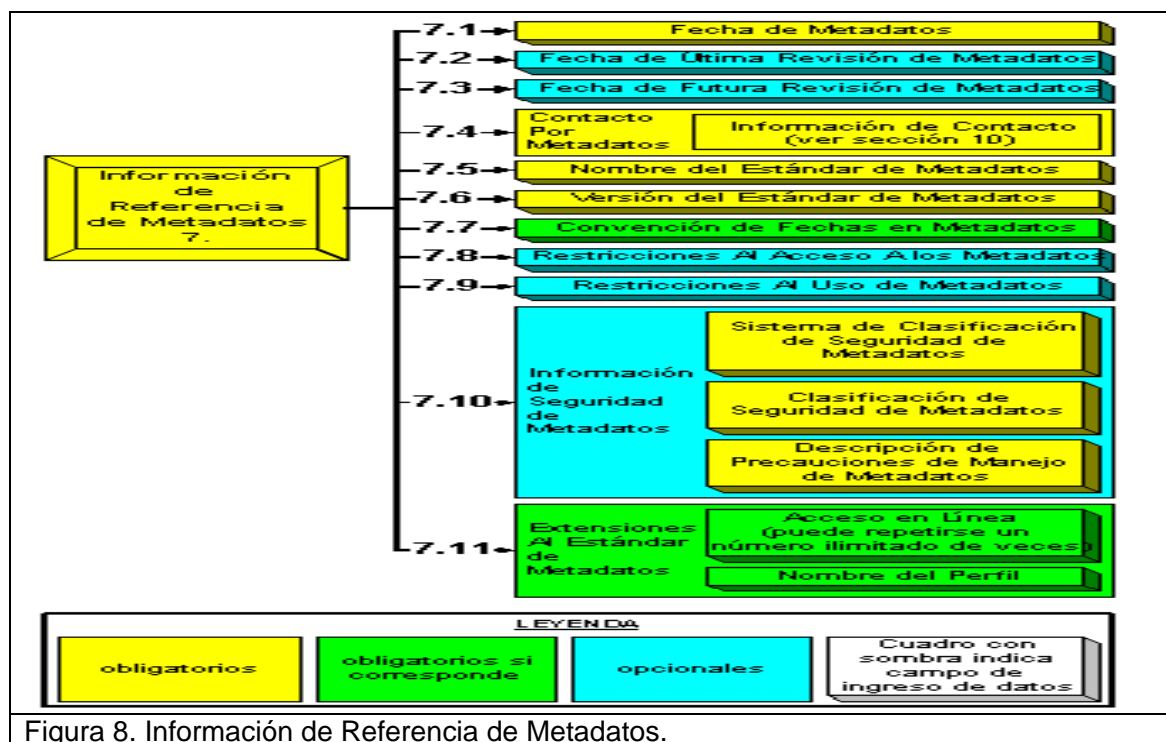


Figura 8. Información de Referencia de Metadatos.

## DISCUSIÓN

Tomando como base este estándar pasamos a conformar las metadatos de nuestra aplicación.





**Identificación:**

**Citación:**

**Citación \_ información:**

**Origen:** Centro de Investigaciones para el Petróleo

**Título:** Pronóstico gasopetrolífero en la Asociación Ofiolítica cubana aplicando modelación Matemática

**Publicación \_ fecha:** 1993

**Series \_ información:**

Geofísica Internacional Revista Geofísica Internacional, Vol. 33, Numero 3

Identificación: ISSN 0016-7169

**Descripción:**

**Resumen:**

Este trabajo describe el uso de la tecnología de los Sistemas de Información Geográficos (GIS), como herramienta para la exploración gasopetrolífera. Con esta tecnología podemos integrar toda la información espacial y alfanumérica de naturaleza topográfica, cartográfica geológica, geológica, geofísica, geoquímica, geomorfológica y de otra naturaleza en escala 1: 50000 para su procesamiento y confección de mapas.

El área de estudio está localizada en la región Norte-Oriental de la provincia de La Habana y la porción Norte – Occidental de la provincia de Matanzas.

Abarca un área superior a los 1900 Km<sup>2</sup> y está caracterizado por un tectonismo de tipo alpino, con intensos procesos de sobrecorrimientos de edad Jurásico Superior – Eoceno Medio.

Estos eventos tectónicos tuvieron una participación decisiva en la maduración, generación, migración y entrapamiento de los hidrocarburos como en la formación de reservorios, trampas y sellos.

Los principales reservorios están relacionados con los yacimientos descubiertos en el margen continental, referido a las Unidades Tectonoestratigráficas de Placetas y Camajuaní ( rocas carbonatadas fracturadas de edad Jurásico Superior – Cretácico). Otros reservorios se presentan en el Terreno Zaza ( ofiolitas fracturadas y rocas vulcanógenas sedimentarias de edad Cretácica).

Nuestro principal esfuerzo estuvo dirigido a la detección y discriminación de objetivos gasopetrolíferos someros.

Se aplicaron análisis exploratorio de datos de naturaleza estadística, para el estudio de los atributos utilizados y su relación con los modelos geólogo – geofísicos empleados, métodos de modelación matemática en su expresión de reconocimiento de patrones de naturaleza lógico – combinatoria – supervisado ( Sistema PROGNOSIS), procesamiento de imágenes y técnicas de análisis de Riesgo geológico

**Objetivo:**

Desarrollo de una metodología para la identificación de objetivos someros en la secuencia Ofiolítica utilizando la modelación matemática en reconocimiento de patrones con lógica Combinatoria sobre una infraestructura de los Sistemas de Información Geográficos.

**Información Suplementaria:**



La información está montada sobre un Sistema de Manejo de Bases de Datos INFOPET.GIS, en Access y Visual Basic, siendo manipulado en el Sistema Mapinfo

**Período de tiempo Contenido:**

**Fecha de Inicio:** 1985

**Fecha de Terminación:** 2003

**Status:**

**Progreso:** Incompleta

**Mantenimiento y actualización:** Según el desarrollo de los Proyectos de Exploración.

**Dominio espacial:**

**Coordenadas de Frontera:**

Frontera Oeste: 370000

Frontera Este: 3410000

Frontera Norte: 380000

Frontera Sur: 3410000

**Palabras claves:**

**Tema:**

Petróleo, Reservas, Sistema petrolero

**Lugar:**

Región Norte Cubana de Crudos Pesados

**Información de Contacto:**

**Contacto \_Personal \_primario:** Julio Gómez

**Contacto \_organización:** Centro de Investigaciones del Petróleo

**Contacto \_dirección:** Washington 169, Cerro

**Código Postal:** 12000

**Ciudad:** Ciudad de La Habana

**Provincia:** Ciudad de La Habana

**País:** Cuba

**Contacto Teléfono:** (537) 577309

**Contacto Fax:** (537) 6426021

**Contacto \_Electronic \_Mail:** juliog@ceinpet.cupet.cu

**Data\_Set\_Credits:**

Desarrollado por el Grupo de Productos Informáticos del CEINPET, CUPET

**Datos\_Cualidad\_Informacion:**

**Reporte\_Confiabilidad :**

Los datos han sido recopilados de diferentes fuentes, pero carecen de un control de calidad. No existe personal capacitado dedicado a la validación de la información.

**Reporte \_Consistencia \_Logica:**

Los datos aunque provienen de diferentes orígenes se encuentran estandarizados según el criterio del CEINPET. No existe una norma nacional al respecto.

**Definición \_Process \_Descripcion:**

No se tiene control de las instituciones que aportan información ni los responsables para cada tipo de datos

**Instituciones Estatales**

Oficina Nacional de Recursos Minerales

Centro de Investigaciones del Petróleo

Instituto de geología y Paleontología

Empresas de Perforación y Extracción de Petróleo

**Información \_Datos \_Espaciales:**

**Espacial\_referencia:** Puntos



**Sistema de Coordenadas: Conformal Lambert**  
**Información de los Atributos:**

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
LC	Autonumérico	
codpozo	Texto	,Código del Pozo/LC
codbloque	Texto	Código del Bloque hasta 1998
Nombrepozo	Texto	,Nombre del Pozo/CL
CoordBocaX	Número	,Coordenada Lambert X de la Boca del Pozo/N
CoordBocaY	Número	,Coordenada Lambert Y de la Boca del Pozo/N
CoordBocaZ	Número	,Coordenada Z del Pozo/N
CoordFondoX	Número	,Coordenada Lambert X del fondo del Pozo/N
CoordFondoY	Número	,Coordenada Lambert Y del fondo del Pozo/N
CoaX_CN	Número	,Coordenada Lambert X de la Boca del Pozo en el cono Cuba Norte/N
CoaY_CN	Número	,Coordenada Lambert Y de la Boca del Pozo en el cono Cuba Norte/N
LatGrados	Número	,Grados de Longitud de la Coordenada Geográfica del Pozo/N
LatMinutos	Número	,Minutos de Latitud de la Coordenada Geográfica del Pozo/N
LatSegundos	Número	,Segundos de Longitud de la Coordenada Geográfica del Pozo/N
LongGrados	Número	,Grados de Latitud de la Coordenada Geográfica del Pozo/N
LongMinutos	Número	,Minutos de Longitud de la Coordenada Geográfica del Pozo/N
LongSegundos	Número	,Segundos de Latitud de la Coordenada Geográfica del Pozo/N

**Espacial\_referencia: Areas**

**Sistema de Coordenadas: Conformal Lambert**  
**Información de los Atributos:**

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
LC	Autonumérico	
Codbloque	Texto	,Bloque de Licitación 1995/LC
NombreBloque	Texto	,Nombre del Bloque de licitación 1995/CL
Area	Número	,Área del Bloque 1995/N
Perimetro	Número	,Perímetro del Bloque 1995/N
CodProvinciaGasos	Número	Provincia Gasopetrolífera/N
FactorCritico	Texto	,Factor Critico/C
Localizacion	Texto	,Fichero de Localización Geográfica/W

**Espacial\_referencia: Raster**

**Sistema de Coordenadas: Conformal Lambert**

Resolución por la X: 500 m.

Resolución por la Y: 500 m.

**Información de los Atributos:**

Nombre del campo	Tipo de datos	Descripción
COX	Número	
COY	Número	
ORDEN	Número	
PATRON	Texto	
PESO	Número	
Codform	Número	
DIST-FRENO	Número	
DIST-FREN35	Número	
DENS_TEC100	Número	
RELREGA	Número	
RELRESA	Número	
DISECCINT	Número	
DRAD	Número	
RES1500	Número	
MAGNETO	Número	
MAGREDUC	Número	
MAGDERV2	Número	

**Metadata\_Standard\_Name:** Content Standard for Digital Geospatial Metadata

**Metadata\_Standard\_Version:** FGDC-STD-001-1998



## CONCLUSIONES.

La exploración petrolera tiene como misión fundamental la investigación geológica, utilizando una gran cantidad de información a distintos niveles de escala y procesamiento, que incluyen los recursos naturales, el mapeo, la geofísica etc.

En este trabajo se ha presentado un intento muy general sobre la temática de las metadatos en la exploración petrolera. Todavía no existen estructuras para Estándares a nivel nacional y menos implementado a nivel de OpenGIS, existe pobre conocimiento a nivel nacional de los estándares y no hay un mecanismo adecuado para la divulgación e implantación estos temas.

Los costos del manejo y mantenimiento de los datos están fuera de control centralizado, por lo que la toma de decisiones corporativa no es eficiente. Si nos guiamos por la tabla de niveles (Tabla 1), nuestra organización se encuentra en el nivel 1-2 o sea de manejable a nivel básico.

También se colabora en las geociencias, para la implantación de una interoperatividad en la información, se ha inicializado por múltiples organizaciones geológicas internacionales y nuestro país no es ajeno a esto. De hecho existe un grupo de geocientíficos (donde participan los autores d este trabajo) a nivel nacional adjunto al Comité Nacional de la Informatización, para abordar esta temática. Esta colaboración está motivada por las múltiples presiones ocasionada por el incremento a los accesos, transformación, heterogeneidad y volúmenes de la información. Se ha decidido extender a las geociencias los estándares desarrollados por la OGC y ISO/TC211 para la creación de códigos internacionales. La extensión de los estándares a las geociencias ha provocado un desarrollo de modelos tecnológicos conceptuales en códigos XML-GML (Kristine A, 2004).

A partir de ahora, esperamos un rápido intercambio entre diferentes soportes y medios para que la toma de decisiones se realice con rapidez y alta calidad que ayuda a minimizar el fracaso en la exploración y aumento del conocimiento en la exploración.

## BIBLIOGRAFIA

- |                  |   |
|------------------|---|
| FGDC,1998        | Content Standard for Digital Geospatial Metadata.   |
| CNC, 1982        | Norma Cubana NC-39-08-2.82 Del Sistema de Información y Documentación Bibliográfica.  |
| López C,-, 2000  | Boletín Geológico y Minero de España, ISSN 0366-0176  |
| D'Angelo J, 2000 | Integrated data management improves return on investment, OGJ, July 31 pag. 40-44   |
| Poter, T, 2000   | Seismic metadata management: Optimization with GIS, The leading Edge, February, 2000  |
| Kristine A, 2004 | An international initiative for data harmonisation in geology, 10 <sup>th</sup> ECGI&GIS Workshop, ESDI State of the Art, Warsaw, Poland , Junio 2004 |



## OIL & GEOSITE: ATLAS DIGITAL DE DATOS DE INTERÉS PARA LA EXPLORACIÓN PETROLERA DE LA REPÚBLICA DE CUBA

**Raiza Rey Pallí<sup>(1)</sup>, Evelio Linares Cala<sup>(1)</sup>, Julio Ernesto Gómez Herrera<sup>(1)</sup>, Lorenza Mejías Rodríguez<sup>(1)</sup>, Rolando García González<sup>(1)</sup>, Pedro Valdés Pino<sup>(1)</sup>**

*(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Esq. a Churruca, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, e-mail : raiza, bello, juliog, lorenza, rolando, valdespino; @ceinpet.cupet.cu*

### RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es la presentación del Atlas digital denominado Oil&GEOSITE, que incluye todas las localidades, objetivos, información y conocimiento científico detectado en el territorio de la República de Cuba sobre la exploración y producción petrolera. La potencialidad de este producto digital radica, en que emplea la tecnología de los Sistemas de Información Geográficos e hipertextos dando la posibilidad de producir mapas, mostrar las relaciones entre las manifestaciones de petróleo y gas, las unidades tectonoestratigráficas y los yacimientos gasopetrolíferos.

Navegando a través de vínculos hipertextuales, este enorme cúmulo de información podrá manejarse de forma ágil y muy bien orientada, permitiendo al interesado escoger la forma más conveniente de localizar la información de su interés. Esta aplicación comprende un Sistema de Manejo de Bases de Datos que incluye mas de 700 puntos de interés geológicos, información cartográfica, centenares de fotos de los sitios y una base geológica de superficie en escala 1:250 000 digital, de las unidades tectonoestratigráficas y geológicas, primera y única de la República de Cuba con fines petroleros, además de otras informaciones adicionales relacionadas con la exploración petrolífera, como son: la cartografía geológica, bloques de licitación y topografía

Los interesados podrán examinar una gran cantidad de información en un tiempo extraordinariamente menor que con los métodos convencionales. Esta aplicación digital, está soportada desde un CD-ROM especialmente diseñado por los autores y constituyó el primer producto en formato digital del Centro de Investigaciones del Petróleo.

### ABSTRACT

The main objective of this work is the presentation of the digital Atlas called OIL&GEOSITE, which includes all the locations, objectives, information and scientific knowledge detected in all the territory of the Cuban Republic about the exploration and petroleum production. The potential of this digital product takes place in its use of the Geographic Information Systems and hypertexts, giving the possibility of producing maps, showing the relations between the manifestations of petroleum and gas, the tectonic-stratigraphic units and oil fields.

Browsing through the hyper-textual links, this huge amount of information can be manage in a fast and very well oriented way allowing the user to choose the most convenient way to find the required information. This application involves a system of database management, which includes more than 700 points of geological interest, cartographic information, hundreds of pictures of the sites and a geological base of the surface in 1:250 000 digital scale of the tectonic-stratigraphic and geological units. This application is the first and the only one in the Cuban Republic with oil purposes, besides other additional information related to the petroleum exploration, such us: the cartography, licitation block and topography.

The users may examine a great amount of information in extraordinarily less time than with the conventional methods. This digital application, is supported from a CD-ROM, especially design by the authors and it constitutes the first product in digital format of the Oil Research Center.

### INTRODUCCIÓN

El gran desarrollo en la cartografía geológica alcanzado por nuestro país, donde más del 40%





de nuestro territorio ha sido cartografiado a escalas de detalle y todo el territorio nacional a escalas medias y pequeñas, la perforación de numerosos pozos profundos para la exploración petrolera y la ubicación mediante técnicas de posicionamiento o GPS de salideros superficiales de hidrocarburos (oil seeps), unido a la cantidad impresionante de informes geológicos y monografías, ha creado un volumen de información extraordinario, el cual en su estado convencional atenta contra su verdadera misión, que es la de facilitar la administración del conocimiento contenido en ellos y a la toma de decisiones.

La importancia de la conservación y catastro de estos espacios naturales, dados en diferentes fases de investigación han establecido diferentes criterios de selección de esos puntos de interés geológicos ("geotopi" en italiano, "geosites" en la lengua inglesa). Estos se han definido como elementos singulares del entorno que encierran un dato y un conocimiento científico extraordinario si se les aprovecha (Burlando, M., 1998). En nuestro caso particular, que es la temática de la exploración del petróleo, denominamos a estos elementos como puntos de interés geológicos o oilgeosite.

Ante esta problemática, los Sistemas de Información Geográficos (SIG), se perfilan como una herramienta, que permite integrar la información tanto espacial como alfanumérica, desarrollando el imperativo de hacer análisis espaciales, casi imposibles de realizar manualmente, en diferentes escalas y grado informacional (Aronoff, S., 1991).

En nuestra organización (CEINPET) contamos con un sistema SIG denominado **SISTEMA INFORMÁTICO PARA PETRÓLEO (INFOPET.GIS)** el cual está orientado y diseñado para la solución de complejos problemas en el campo de la informática petrolera.

Inspirados en la metodología sobre Ingeniería y Gerencia de los SIG (Galeano, 1999) el grupo de trabajo se dio a la tarea de crear un producto informático capaz de sortear con éxito la problemática planteada y surgió una aplicación o producto informático codificado como **OIL&GEOSITE**, estructurado en un sistema integrado de bases de datos, un manipulador de esta información y una herramienta SIG. ***Teniendo en cuenta la misión integradora del SIG haciéndose énfasis en el valor agregado que es capaz de imprimir a la información, se manejaron los siguientes objetivos:***

- Manipular la información topográfica contenida en la base cartográfica digital.
- Manipular la información geológica contenida en una base cartográfica digital.
- Manipular la información alfanumérica de los diferentes puntos de interés petroleros.
- Crear bases de datos geográficos con la información anterior para el trabajo sobre una plataforma de manejo en Adobe Acrobat y compatible con el desktop mapping MapInfo.
- Desarrollar un esquema tecnológico para la manipulación integrada de la información y su posible impresión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta aplicación consta de varios módulos principales, entre los que se destacan la presentación y menú principal (Figura 1), diagrama de bloque del sistema (Figura 2), Base geológica generalizada en escala 1:250 000 de Cuba (Figura 3). A partir del mapa geológico de la superficie de Cuba en escala 1: 250 000 se creó un mapa zonal (generalizado según la génesis de las formaciones geológicas en la superficie, levantamiento geológico de superficie (Linares E, 2000, Gómez J, 2000), donde se agruparon y mapearon diferentes unidades tectono – estratigráficas y geológicas. Estas fueron definidas a partir de 70 unidades litoestratigráficas o





formaciones. Se contó con la información de los yacimientos en producción y los ya agotados, que permiten indicar premisas geológicas, estructurales y estratigráficas para la búsqueda del petróleo (por ejemplo la asociación de las rocas de las Unidades Tectonoestratigráficas (UTE) Placetitas y Camajuaní que tienen excelentes rocas generadoras y acumuladoras de petróleo).

Además contamos con la Base cartográfica 1:250 000 de la República de Cuba organizada por provincias administrativas con los siguientes componentes (Tabla I y Figura 4). Este módulo permite la búsqueda de los oilgeosites según su ubicación en la división político – administrativa (provincias) y la Base de datos de los bloques de Licitación Petroleros, formalizados en el año 2000 (Figura 5), conformada por 61 bloques en licitación para la exploración petrolera o áreas definidas desde una perspectiva económica para la inversión de compañías foráneas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este es uno de los aspectos más complicados desde el punto de vista computacional ya que resulta muy difícil formalizar y llevar a un ambiente amigable, las bases de datos y sus relaciones espaciales de forma tal que el usuario pueda acceder a la información que desee.

Como la información sobre los puntos de interés es bastante extensa, a modo de ejemplo se presentan una secuencia de búsqueda. Se plantea la necesidad de informarnos acerca del objeto representado por el pozo Caracoles 1.

Primeramente podemos ubicarnos por la provincia geográfica (Figura 6) o por el bloque de licitación a que pertenece (Figura 7).

Después, de ubicado podemos acceder a su ficha geológica (Figura 8), a su foto (Figura 9), su ubicación topográfica (Figura 10) o su columna geológica consecuente con la división zonal de superficie (Figura 11).

Podemos tener acceso al estudio del punto de interés utilizando el Sistema de Información Geográfico Mapinfo y la información de su leyenda (Figura 12).

## CONCLUSIONES

Durante los últimos años, se ha venido trabajando en el desarrollo de una estrategia que permita a la Industria Petrolera Cubana (CUPET), modernizar toda su base tecnológica e informática y ponerse a tono con las exigencias mundiales existentes en esta importante esfera económica. Parte de este esfuerzo está dirigido al perfeccionamiento de toda la base informática relacionada con la actividad, para lo cual, resulta imprescindible la introducción de **Sistemas de Bancos de Datos (DB), Sistemas Manipuladores de Bases de Datos (DBMS)**, la Cartografía Digital y los **Sistemas de Información Geográfica (SIG)** en la misma, junto al empleo de otras altas tecnologías afines.

La presente obra tiene como objetivo principal, además de introducir un modelo tecnológico para el empleo de la Cartografía Digital y los SIG en la esfera del petróleo, **crear el producto informático del CEINPET portable en CD-ROM**, capacitar y convencer a los especialistas de la organización de que esta es una poderosa herramienta para la toma de decisiones en las diferentes Empresas de CUPET.

La consolidación definitiva de esta iniciativa en la gerencia de los puntos de interés para la exploración petrolera y su evaluación multicriterio, como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones, representa una gran contribución



**ESTRATÉGICA** no solo para el campo científico sino que expresa una forma superior de análisis y toma de decisiones en la tarea de la búsqueda de yacimientos de hidrocarburos y el conocimiento geológico de nuestro país.

Esto es muy importante para el especialista, ya que cuenta con un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, que lo auxilian para determinar módulos de decisión que describen, evalúan, ordenan, jerarquizan, seleccionan o rechazan objetos, sobre la base de una evaluación.

La posibilidad de intercambio de datos, hace de esta tecnología una herramienta de gran flexibilidad y un elemento fundamental de desarrollo y preparación de nuestros especialistas, para el enfrentamiento de la Globalización Tecnológica. Este trabajo está propuesto para logro científico del CEINPET.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aronoff, S., 1991, Geographic Information Systems. A Management Perspective , WDL Publications, ISBN 0-921804-91-1, Canadá
- Barredo J., 1996, Sistemas de Información Geográfica y Evaluación multicriterio, Ediciones RA-MA, ISBN 84-7897-230-7, España.
- Burlando, M, et, al, 1998, Inventario de los puntos de Interés geológico en Italia, Boletín Geológico y Minero, Vol 109-1, España
- Galeano, R., 1999, Ingeniería y Gerencia de los Sistemas de Información Geográficos. Memorias del Seminario de Sistemas de Información Geográfica,, SELPER-Colombia, Pag. 34-38
- Linares E, et,al, 2000, Proyecto 2130. Guía práctica para el estudio sobre el terreno de las localidades de interés gasopetrolíferos, Archivo CEINPET, Cuba

**Tabla I. Capas digitales por temáticas**

Nombre	Temáticas	Objetos
Vial	Carreteras de primer Orden	Vectorial
Vial	Carreteras de segundo Orden	Vectorial
Vial	Camino	Vectorial
Vial	Terraplén	Vectorial
Pueblo	Capital de provincia	Areal
Pueblo	Cabecera de Municipio	Areal
Pueblo	Pueblos	Areal
Límite DPA	Límite de provincias	Vectorial
Rothidro	Rótulos hidrografía	Caracteres
Rotplani	Rótulos plani	Caracteres
Vegetación	Bosque de todo tipo	Areal
Vegetación	Maleza	Areal
Costa	Línea de costa	Vectorial
Puente	Puente	Vectorial
Zonas bajas	Mangle	Areal
Zonas bajas	Zona salitrosa intransitable	Areal



Zonas bajas	Pantano accesible	Areal
Zonas bajas	Pantano inaccesible	Areal
Hidrografía	Ríos, arroyos	Vectorial
Hidrografía	Embalses	Areal
Punto todo	Código de las manifestaciones gasopetrolíferas	Puntos

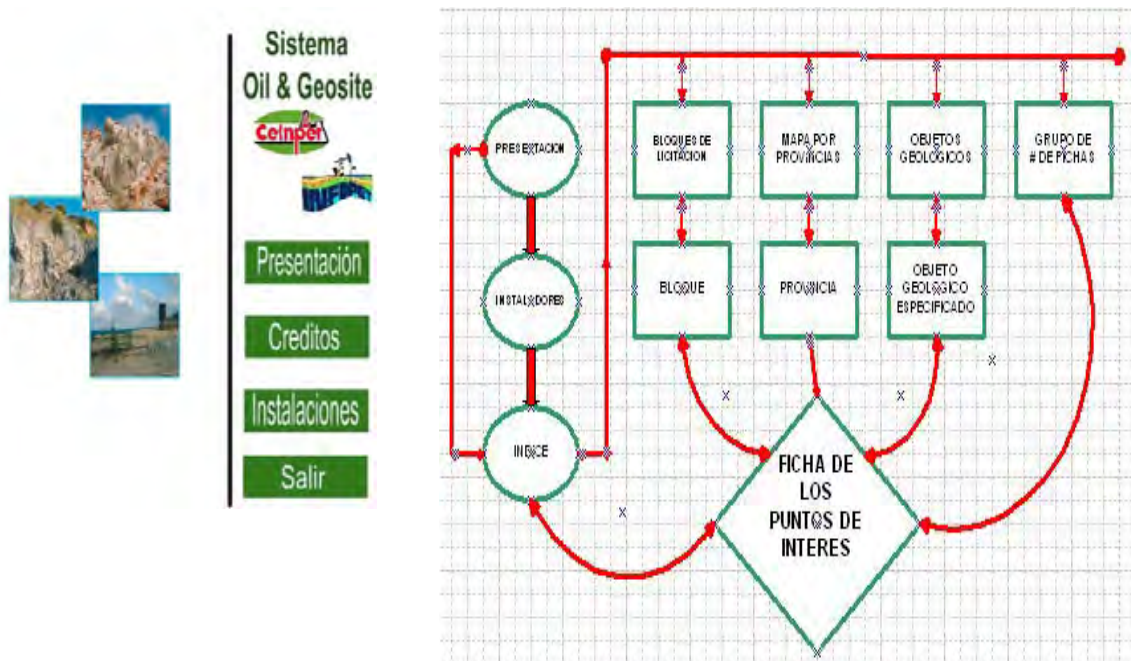


Figura 1. Menú principal del producto digital Oil&Geosite. Figura 2. Diagrama de bloque del sistema

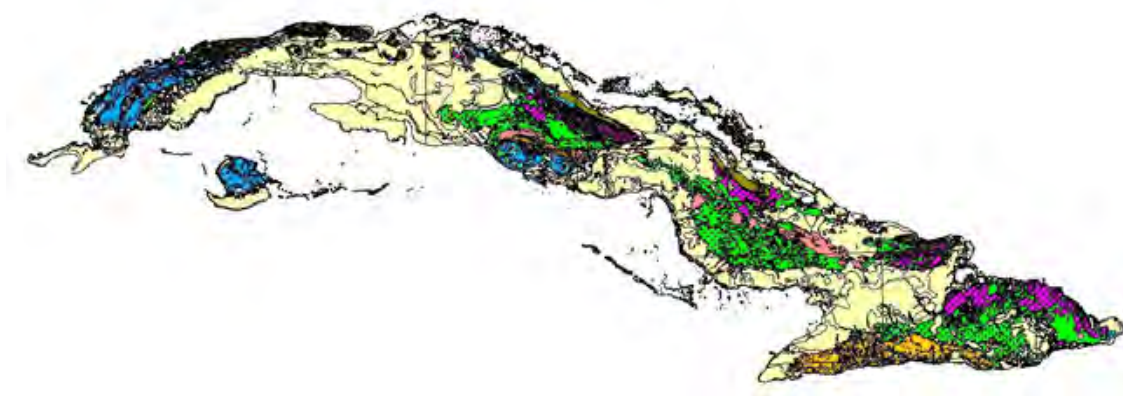


Figura 3. Mapa geológico escala 1:250 000



Figura 4. Mapa de Cuba por provincias Figura 5. Mapa de los bloques de licitación

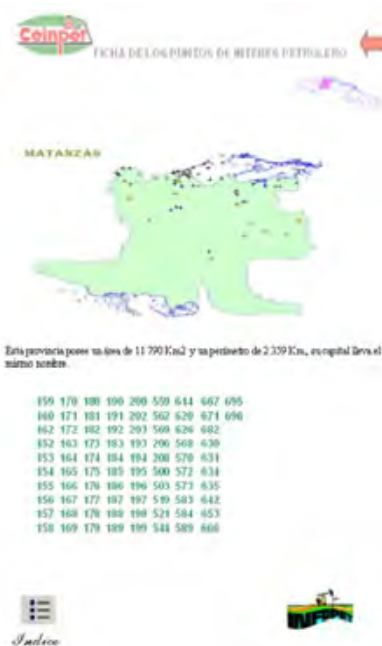






Figura 8. hoja de la ficha geológica



Ficha 189. Pozo Caracoles 1. Perforado por la Compañía Francesa TOTAL en 1994 a una profundidad de 3800 m. Situado a 6,5 km al E-NE de la Península de Hicacos, prov. Matanzas. Foto cortesía de CUPET ©.

Figura 9. Foto de la ficha geológica



Figura 10. Ubicación topográfica

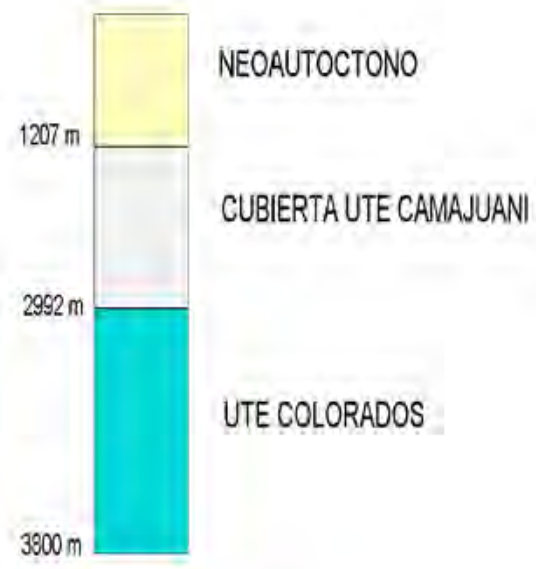


Figura 11. Columna geológica generalizada

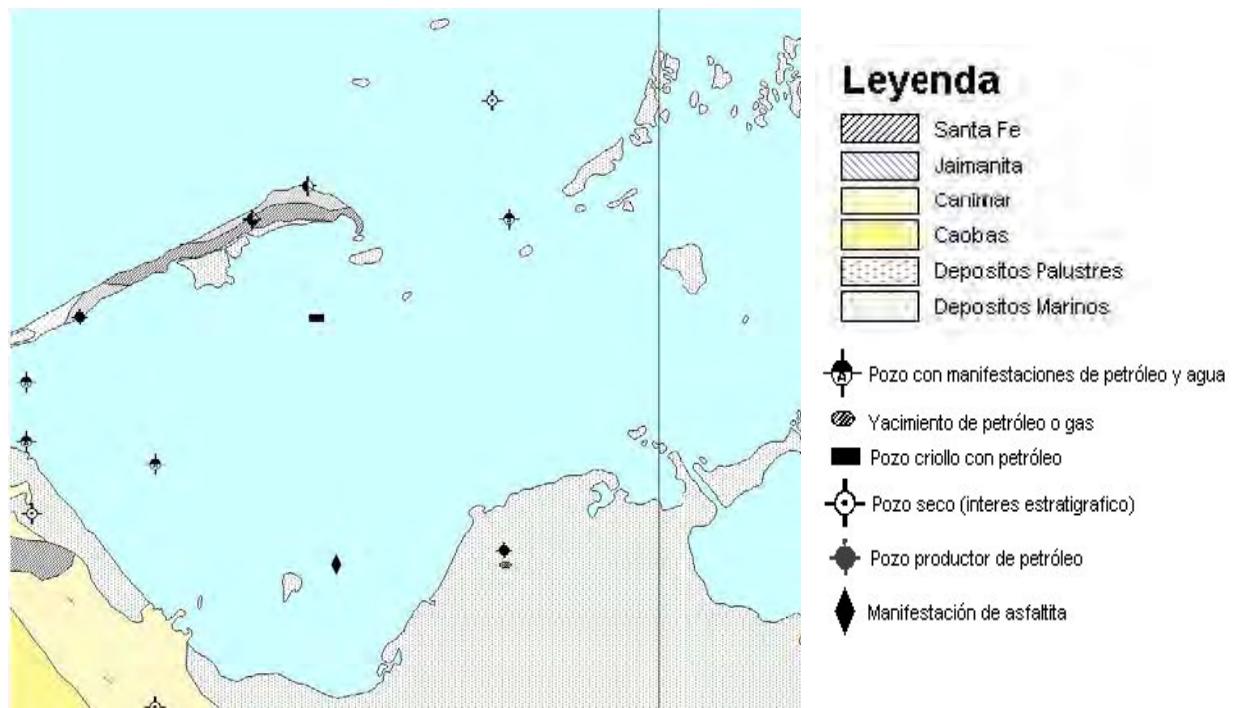


Figura 12. Representación de la información temática de los puntos de interés y la leyenda utilizada (detalle).





## **APROXIMACIÓN A UN MODELO TOPOLÓGICO PARA LA EVOLUCIÓN DEL RELIEVE CARSIFICADO Y SU APLICACIÓN EN LAS INVESTIGACIONES MEDIOAMBIENTALES**

**Mario G Guerra Oliva.**

*Instituto de Geofísica Y Astronomía, e-mail: puma@iga.cu*

### **Introducción:**

A partir de la aplicación de algunas técnicas de los lenguajes formales y de los principales conceptos de la topología, como herramientas matemáticas, que permiten ser utilizadas para la caracterización de variables cualitativas y su descripción, se obtiene una alternativa de aproximación a un modelo matemático que explica la evolución del relieve carsificado. Esta aproximación, favorece a nuestro entender una mejor comprensión de la evolución del relieve carsificado, lo que también facilita identificar los mecanismos, que contribuyen y favorecen al desarrollo y evolución de este relieve y por consiguiente los factores que lo hacen vulnerable ante los impactos naturales y antrópicos, que pueden afectar las condiciones de este importante componente físico del substrato rocosos y del relieve cubano

En el trabajo se analizan cada una de las expresiones utilizadas y su aplicación en el modelo que se presenta, así como se argumenta sobre su significado en el modelado del relieve carsificado

Modelo topológico para la evolución del relieve carsificado.

Concepto de topología; El vocablo topología, etimológicamente significa ciencia del lugar, esta disciplina ha sido también llamada Análisis Situs, tales denominaciones indican que se trata del estudio de la situación o posición de las figuras, independientemente de la extensión de las mismas.

La topología estudia y analiza las propiedades que no conciernen a la medida, como pueden ser las proporciones, el tamaño o la perpendicularidad y que se conservan aunque la figura se someta a deformaciones que si bien pueden alterar las distancias y aun las proporciones, mantienen algunas características más generales como son la posición mutua de sus elementos en cuanto a pertenencia y ordenación, el carácter de una curva.

La topología es una rama de las matemáticas, en específico, del análisis funcional que en síntesis, estudia la transformación de los cuerpos geométricos sin perder sus propiedades mediante la utilización de los conceptos de la teoría de los conjuntos y los lenguajes formales.

A partir del análisis de las propiedades puntuales, métricas y topológicas de los cuerpos geométricos, la topología es capaz de reconocer y describir matemáticamente los cambios físicos que pueden ocurrir en todo cuerpo, ya sea en un espacio bidimensional o tridimensional.

Es un arreglo del mundo abstracto hacia el real, que mediante el establecimiento de las relaciones de equivalencia que pueden establecerse entre los cuerpos, reconoce las relaciones entre ellos y las transformaciones en ellos mismos. En este caso nos referiremos siempre a espacios bidimensionales aunque como es lógico permite la interpretación de cuerpos en un espacio tridimensional.

El Carso, como efecto, es un relieve originado por la causa de cinco procesos que determinan su formación. Estos son geodinámicos, morfodinámicos, climáticos, geoquímicos y termodinámicos. Tal efecto, se expresa morfológicamente mediante tres grupos de formas del relieve: absorción, conducción y descarga. En los grupos de formas de absorción, se reconocen los lapiez, sumideros y depresiones. Las cavernas son las formas de conducción y la descarga ocurre mediante los manantiales o surgencias.



La morfología de cada uno de los efectos que integran los tres grupos de formas del carso pueden definirse geoméricamente mediante la clasificación ya explicada.

En este medio cársico se reconocen cuatro espacios, estos son: matriz sólida, poros, grietas y cavernas. Los tres primeros son producto de los procesos geodinámicos y participan en las condiciones iniciales que gobiernan el desarrollo del carso, estos procesos son la expresión tectónica de las soluciones de continuidad, en este caso en el espacio de las grietas.

Estos cuatro espacios, para ser susceptibles a la carsificación dependen de determinadas condiciones iniciales, éstas son: la existencia de un gradiente de energía inicial y la capacidad del medio a la absorción, la conducción y la descarga del fluido. La relación que se establece agua - roca está en dependencia de estas condiciones y de la alimentación del medio exterior con el sistema.

Un sistema se define como una estructura, equipo, esquema, medio o procedimiento, real o abstracto que interrelaciona en un cierto intervalo de tiempo una entrada, causa o estímulo de materia, energía o información y entrega un efecto o una respuesta de información energía o materia. En consecuencia es un arreglo de objetos dispuestos en una interacción regular al que pueden aplicarse ciertas leyes.

Aplicando esta definición e introduciéndole algunos conceptos del análisis topológico ya mencionados podemos argumentar que geomorfológicamente el sistema cársico se define como un sistema compuesto por un conjunto de partida que representa el elemento morfogenético mínimo que recibe el estímulo inicial. Este estímulo acciona en el sistema de acuerdo con las condiciones iniciales de contorno sobre los que actúan los diferentes procesos que originan el proceso de la carsificación.

En el interior del sistema, la transferencia del fluido entre cada espacio interrelaciona los estímulos que desarrollan y amplían las formas cársicas del relieve y un conjunto de llegada que representa el elemento máximo morfogenético que recibe el estímulo final.

La distribución y ubicación espacial de las condiciones iniciales necesarias ya señaladas, para que suceda la carsificación, tiene gran importancia para que ocurra la transferencia del fluido. La transferencia del fluido es: La proporcionalidad de los elementos que componen dicho concepto define a la transferencia del fluido en función directa con cada uno de los factores de la expresión. En este sentido las condiciones físicas y geométricas de cada espacio entre las condiciones geométricas inciden fundamentalmente en el estado inicial del sistema y su funcionamiento la relación entre cada espacio y su definición matemática.

Relación entre los espacios cársicos y topológicos Matriz sólida----- espacio nulo

Poros----- espacio puntual Grietas----- espacio métrico

El desarrollo tridimensional de los efectos geomórficos, está controlado por estos tipos de espacios. Su expresión física muestra el modo, el sentido y la dirección de la carsificación.

**Espacio nulo:** Es el conjunto que no tienen  $n$  elementos. Está representado por la matriz sólida. En este espacio no ocurre transferencia del fluido y se considera una zona de no - flujo. Esto significa que la relación entre el volumen de la matriz sólida y el volumen de vacíos de la propia matriz sólida se igualan, lo que significa la no-existencia de vacíos que permitan la absorción del líquido a través de la matriz sólida y se expresa como:  $Q_s = V_s/v$

La matriz sólida entonces evoluciona sólo superficialmente. Despreciando la componente  $Z$  del fluido, o sea  $Z=0$  (fluido vertical), el coeficiente de anisotropía de la matriz sólida se Expresa como:  $A^- = 1/k/Kx$

**Espacio puntual:** Se define como el intercepto entre dos métricas. Morfológicamente, constituye el elemento mínimo en el sistema cársico que recibe el estímulo inicial, es por tanto el conjunto de partida del proceso. Morfogeneticamente, en este espacio, el proceso que predomina es el de la ampliación de las formas del relieve, el concepto de espacio métrico permite ejemplificar el desarrollo de las formas cársicas de tipo puntual. **Espacio métrico:** Se



define como la distancia entre dos puntos, es una función unívoca y real no negativa, definida por dos elementos  $x$  e  $y$  de  $X$  constituidos por un conjunto de puntos y una métrica introducida en el conjunto. Es decir, la evolución y desarrollo del carso ocurre en una dirección bien definida, desde las formas de absorción, que constituyen los conjuntos de partida, hasta las formas de emisión, que representan los conjuntos de llegada. Cada forma antecedente es más joven que la siguiente

Las condiciones iniciales del sistema, el gradiente inicial y la capacidad de absorción en el conjunto de partida y la capacidad de absorción de este elemento mínimo, determina el sentido de la conductividad hidráulica  $K$  y de la velocidad del agua subterránea. El modo en que se expresan las soluciones de continuidad en el sistema y gobiernan el desarrollo tridimensional del mismo, la expresión geomorfológica de los indicadores numéricos de las formas del relieve del carso es exponentes indirectos del sentido de la conductividad hidráulica. En el espacio de la matriz sólida, no se desarrolla flujo subterráneo. El modelado del relieve ocurre sobre este espacio, igualmente los poros, en rocas agrietadas tiene poco significado hidrológico, por lo que la transferencia del fluido se limita entre la matriz sólida y las grietas.

La conductividad hidráulica ocurre del siguiente modo:  $K_m \ll K_p \ll K_g$ . En la dirección de  $K_m \rightarrow K_p$ , ocurre la etapa primera etapa morfo evolutiva, la dirección del fluido ocurre entonces como:  $(\hat{O}_m, \hat{O}_p) < (\hat{O}_p, \hat{O}_g)$

Espacio topológico: Se define como un conjunto  $X$  con su topología  $t$  definida en él, es decir  $(X, t)$ . Este concepto, permite explicar el desarrollo progresivo y diferenciado del conjunto de partida, en particular la dirección Morfo evolutiva de las depresiones cársicas:

No solamente el gradiente inicial y la capacidad de absorción del sistema, permiten el desarrollo y evolución del carso, es necesaria además una capacidad de conducción y de transmisión del flujo de las aguas subterráneas. Estas condiciones favorecen, el desarrollo en el carso de las formas de conducción, efectos geomórficos del espacio de las cavernas. La relación que ocurre entre el espacio de las grietas y el de las cavernas, ha sido expresado según la relación  $(\hat{O}_p, \hat{O}_g) < (\hat{O}_g, \hat{O}_c)$ . Se agrega un nuevo espacio no existente en las condiciones iniciales del sistema que, en su conjunto integran totalmente al sistema cársico. La conductividad hidráulica ( $K$ ) se comporta entre los espacios de las grietas y las cavernas en este sentido:  $K_g \ll K_c$  y  $K_g \rightarrow K_c$ . La relación  $n$  de acreción  $\varepsilon^{-1} < \varepsilon^{-2}$  para flujo no permanente expresa el comportamiento morfodinámico del relieve cársico, significa que los estímulos iniciales siempre son menores que los siguientes por cuanto, el conjunto de llegada además de una fase, constituye el conjunto de partida del siguiente.

Cada fase Morfoevolutiva resulta una funcional en sí misma e igualmente, al caracterizar procesos locales particulares de evolución de cada una de las formas del relieve individualmente, se representa como un espacio topológico característico de cada fase de evolución geomórfica y del momento morfodinámico en que ocurre. Cada una de estas etapas, propicia sus propias condiciones iniciales y de llegada por lo que pueden considerarse sistemas locales en sí mismo. El valor morfogenético del estímulo inicial de una fase evolutiva responde al valor necesario que desarrolla una forma del relieve anterior y la que es necesaria para que se desarrolle la siguiente.

La relación  $\varepsilon^{-1} < \varepsilon^{-2}$ , indica además que para que actúe el sistema es necesario un grupo de acciones externas al sistema, lo que resulta en diferentes estados iniciales para cada fase del sistema. La respuesta del sistema es inversamente proporcional al estímulo; la relación  $K_c \ll K_g \ll K_p$  nos indica que es necesario un mayor aporte de los procesos hidrodinámicos para el desarrollo de cada etapa morfoevolutiva siguiente.

La respuesta final del sistema ocurre mediante los efectos geomórficos de las formas de emisión. En estas formas se concentran todos los estímulos parciales necesarios para el desarrollo del sistema. La relación  $n < n$  permite argumentar que cada forma de absorción representa una etapa parcial final de cada uno de los sistemas locales que componen el



sistema total, estas indican un resultado escalonado del estímulo necesario para cada etapa de desarrollo Morfo evolutivo.

Conceptualización topológica del relieve Sobre el relieve y donde además se ubican los otros dos subsistemas citados ocurre la acción de los procesos geomorfológicos que son en definitiva quienes provocan la transformación de los otros subsistema, un concepto de procesos geomorfológicos adecuado al análisis que aquí se realiza es.

Concepto de procesos geomorfológicos De acuerdo al concepto de análisis de sistema se pueden definir los procesos geomorfológicos ya mencionados, como la entrada, causa o estímulo inicial que le transmite información de energía al sistema geomorfológico para que este pueda evolucionar. Esta causa o estímulo varía con el tiempo en el espacio. Los procesos geomorfológicos, son la acción que ejercen un grupo de agentes, tanto externos como internos sobre el sistema geomorfológico.

Como agentes externos tenemos: Los agentes externos al sistema son: Factores climáticos (precipitación, temperatura, viento y evaporación los que se expresan geomorfológicamente como: Proceso de denudación (erosión, transporte y sedimentación), Factores internos (tectónicos y neotectónicos).

Los subsistemas que lo componen, representan el conjunto de cuerpos materiales que interactúan entre sí y con el medio ambiente. Al considerar las propiedades térmicas y dinámicas del subsistema hidrológico y su componente climático y las bruscas variaciones que estas alcanzan a lo largo del tiempo, las transformaciones ocurridas sobre el relieve, al recibir este conjunto información, materia y energía no permanente en ciertas condiciones termodinámica, le imprime al sistema geomórfico, un carácter de sistema en desequilibrio, definido como aquellas transformaciones en cuyo transcurso, el sistema no se encuentra en estado de equilibrio, es decir al ocurrir ciertas transformaciones, diversos puntos del sistema tienen distintos parámetros o variables para un determinado lapso de tiempo en un espacio bien definido.

La respuesta del sistema son las formas del relieve que se están transformando topológicamente permanentemente, lo que se puede expresar tomando el concepto de función como:  $Y = f(x)$ , Donde  $Y$  = campo de valores,  $x$  = campo de definición. Que considerando un segmento de naturaleza arbitraria se puede utilizar el término de aplicación. En este caso el conjunto  $Y$  representa la imagen del conjunto  $x$ . Entonces se puede definir el sistema geomorfológico como sigue:

Entrada ( $X$ )  $\Rightarrow$  función de transferencia  $\Rightarrow$  ( $Y$ ) salida  
(Procesos geomorfológicos) (Factores geomorfológicos) formas del relieve

El sistema geomorfológico constituye un sistema en el mundo real, sobre el espacio  $R^2$  y en el tiempo, por lo que ocurre secuencialmente en estas dos direcciones, es decir es un sistema físico al que se le puede seguir una secuencia que consiste en una entrada o conjunto de estas, un conjunto de llegada o salida y algún medio que pasa a través del sistema transformándolo. El relieve consta de dos geometrías que definen sus morfología. La morfología de la salida del sistema depende solamente de la forma de la entrada que constituye variables que no dependen del tiempo, sino que son variables en su eje.

Esto define al sistema geomorfológico en términos estadísticos como de un carácter probabilístico o estocásticos dinámico y permanente. Significa que los patrones de formas del relieve dependen del valor de la función de entrada es decir de  $f(x)$ . A iguales o similares estímulos iguales o similares respuestas al sistema que se manifiesta en las formas del relieve.

La posibilidad de ocurrencia de un suceso en el espacio ocurre de acuerdo a los espacios topológicos o métricos que controla la superficie del relieve. La presencia de un mayor número de métricas, determina una mayor densidad de litomorfoestructuras sobre la topología que conforma el relieve.

Entonces se puede expresar la evolución del sistema con una red como sigue:



- 1- conjunto de llegada, (topología inicial) subsistemas edáficos y bióticos (suelo y vegetación)
- 2- relieve, unión de topología
- 3- conjunto de llegada, topología final) subsistema litoestructural (substrato rocoso)

En el sistema geomorfológico la erosión es el proceso más importante como parte de los agentes externos al sistema, el que modela el relieve. Su cálculo es de suma importancia para el análisis morfoevolutivo del relieve así como para la evaluación de las cuencas fluviales. Un análisis de algunos métodos que se utilizan para conocer la incidencia de la acción de este proceso sobre el relieve se discuten a continuación:

Métodos lógicos combinatorios de interpretación. Matriz inicial de datos o de evidencia.

Es un método matemático basado en la lógica combinatoria y de reconocimiento de patrones muy eficaz para el tratamiento de atributos y variables cualitativas. En este caso se utilizan para la confección de la matriz inicial de datos con la que se realiza la interpretación en gabinete, tanto a escala local como regional, y para la cartografía detallada de las formas del relieve.

El método utilizado es la interpretación morfoevolutiva y de impacto ambiental de las condiciones naturales del relieve o sobre obras hidráulicas o de estas sobre el sistema natural aplicando el análisis combinatorio. Dentro de este análisis existe el método lógico usándose el caso las matrices de inclusiones y exclusiones o principio de clasificación cruzada, mediante la construcción de matrices entre las formas del relieve y los procesos geomorfológicos. Esta interpretación se basa en la aplicación de los métodos de la lógica matemática del análisis combinatorio para reflejar las asociaciones que se establecen entre las formas del relieve y el carácter de pertenencia entre ambos. La teoría plantea que dados un  $n$  - conjunto  $S$  de ciertos elementos (iguales a las formas del relieve, que en caso de analizarse para levantamientos de formas superficiales se mencionan los nombres de la forma que son los elementos del  $n$  - conjunto  $S$ , y si se trabaja para elementos que son cavidades subterráneas se pondrán los nombres de cada una de las cavernas) existe la particularidad de que los elementos del conjunto  $n$  pueden poseer las propiedades de algunos de los elementos del conjunto  $N$  o pueden no tenerlas, es decir que cada forma del relieve (superficial o subterráneo) corresponda con algún proceso. El conjunto  $N$  son las propiedades ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ ) que se corresponderán con los procesos geomorfológicos o hidrogeológicos según sea una matriz para formas superficiales o subterráneas.

Este método, permite hallar el número de elementos (o formas del relieve o cavernas) que no posean ninguna de las propiedades del conjunto  $N$ , para esto se eligen  $r$  - muestras de propiedades (procesos geomorfológicos) designándose con  $n(P_1, P_2, \dots, P_i)$  el número de elementos del conjunto  $S$ , cada uno de los cuales poseen todas las propiedades elegidas.

El planteamiento más general permite reconocer las formas del relieve o cavernas que pueden poseer las combinaciones de las propiedades compatibles de los procesos del relieve, que se demuestra mediante la siguiente expresión:

**$\bar{o} n (p_i)$  elementos.** Esto significa que se hace excluir del  $n$  - conjunto, los elementos que tiene las propiedades  $p_i$ , luego los elementos poseedores de la propiedad  $p_2$  etc., que permite reconocer en una zona la presencia de los procesos que deben o tienen que existir y lo contrario. Mediante el análisis de los elementos o formas del relieve poseedores de las propiedades  $P_1, P_2$ , (procesos de la zona), el subconjunto continuo permite, mediante análisis, reconocer elementos que poseen dos propiedades o procesos, un razonamiento análogo permite obtener un algoritmo para el cálculo de  $n (P_1, P_2, P_n)$ , el cual consiste en rechazar y devolver alternativamente los subconjuntos. Esto es en el caso de sólo caracterizar los procesos con las formas del relieve correspondientes cualitativamente. A cada proceso se le puede sumar las formas del relieve que le correspondan donde:

**$\bar{o} v (P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1r}) = V_{\otimes}$**  lo que está en paréntesis significa la suma de los pesos de los elementos que poseen toda la  $n$  propiedades elegidas.

Método de incidencias y matrices especiales. Igualmente puede interpretarse la Morfoevolución del relieve, confeccionando matrices de las formas del relieve  $v$  s procesos





geomórficos, aplicando las matrices de incidencias donde se establece una correspondencia binaria entre dos conjuntos **M** y **S**, y la correspondencia binaria que en el sistema de los conjuntos recibe el nombre de relación de incidencia.

Se interpreta esta relación como que los elementos de uno de los conjuntos es un subconjunto del otro, mientras que es simplemente una relación que caracteriza la pertenencia de los elementos de uno sobre los conjuntos de la familia del otro conjunto. En la matriz de incidencia, las unidades dispuestas en una de las filas de la matriz expresan elementos del otro subconjunto y las unidades dispuestas en las columnas señalan los subconjuntos que contienen elementos de las filas. La matriz da una descripción completa del sistema de incidencias. Otro método lógico del análisis combinatorio es el de la tabla de verdad

**Tabla de Verdad** Se establece este método para la matriz que asocia y combina las formas del relieve entre sí. Esta tabla indica el carácter verdadero o falso, mediante cero y uno (**0, 1**) del significado de proposiciones de combinaciones que se indican en la tabla como probables, mediante la aplicación de nexos lógicos, que permiten a su vez obtener proposiciones más complicadas. En el caso de la interpretación morfoevolutiva del relieve, la proposición propuesta es la aplicación de cada forma del relieve con las restantes y no consigo misma. A cada forma del relieve, se le halla el carácter verdadero o falso de la aplicación resultante con el resto de las formas del relieve. Es decir se evalúa la proposición componente que dependa de dos variables: 1 si es verdadero, y cero si es falso.

El siguiente es otro método lógico del análisis combinatorio:

**Tautología** Es el resultado de la Tabla de Verdad, y en nuestro caso específico de la matriz entre las formas del relieve. Las Tautologías, son proposiciones lógicamente verdaderas, es decir cuando se cumple la propiedad de relación entre las formas del relieve o de relación binaria entre ellas. La tautología es el resultado de la fila donde sólo se consideran los valores 1 y son lógicamente falsas o contradictorias aquellas proposiciones que resultan valores cero, es decir la columna que sea, o parte de ella, tenga valores cero. Estas proposiciones se interpretan mediante los métodos cartográficos y grafo - analíticos a partir de los sistemas de incidencias donde se establece la correspondencia binaria entre los conjuntos. En un plano ya sea métrico o topológico se expresa cuando al menos dos formas del relieve adquieren un carácter de unión y/o intercesión entre ambos conjuntos de elementos. Esta correspondencia binaria recibe el nombre de relación de incidencia para nuestra aplicación y significa que cada forma del relieve se propone como que se asocia con las restantes y se verifica el carácter de verdadero o falso de tal relación binaria.

**Interpretación de las matrices especiales o de incidencias.** Método de exclusiones o inclusiones y tabla de verdad considerando, de los elementos de la teoría de las probabilidades, los conceptos de los sucesos. Cuando una forma del relieve sólo se forma u origina a partir de un proceso geomorfológico o grupos de procesos, la presencia de esa forma del relieve es un suceso cierto. Un suceso consta de la realización de observaciones, pruebas o mediciones que es lo que se denomina un ensayo, siendo el resultado el suceso. Las condiciones o conjuntos de condiciones bajo las cuales se efectúa un ensayo es igual a un complejo de condiciones y éste es igual a las causas geomorfológicas, entonces el suceso se considera igual al efecto, que no son más que las formas del relieve

**Medios geométricos y gráficos** Para los sistemas que se estudian en el análisis combinatorio se emplean geometría finita. Este término se usa para designar sistemas compuestos por un número finito de elementos, entre los cuales están establecidos las relaciones de incidencia. A los elementos no definidos en general, se le asignan nombres geométricos para los puntos **P** y líneas **L**. La relación de incidencia **I** se lee así: un punto **P** se dispone en la línea **L**, o bien la línea **L** contiene el punto **P**.

**Espacio proyectivo:** todos los espacios de una estructura incidente  $\{P, L, I\}$ , se corresponden con la clasificación geométrica de las formas del relieve en puntuales, lineales y areales (P,L,I) donde se les asignan nombres a los elementos: **P** a los puntos, **L** a las líneas e **I** a las relaciones de incidencia. Todo espacio proyectivo se considera como una colección de elementos de tres géneros, puntos, rectas y planos, entre los cuales





se establecen las relaciones de incidencia, lo que se corresponde con la clasificación geométrica de las formas del relieve.

**Aplicación de los espacios proyectivos** La utilidad de los espacios proyectivos y su definición en el plano no es más que la interpretación de los diagramas de flujo o de bloque del funcionamiento hidrológico de una zona. Se establece la relación de incidencia binaria entre las formas del relieve, en cuanto a su geometría, estableciéndose los límites entre los conjuntos y subconjuntos de los sistemas y aparatos cársicos con sus formas, así. Como las asociaciones que se establecen entre las formas del relieve.

**Espacio tridimensional. Condiciones y aplicación** Es cuando dos puntos distintos pertenecen a una recta única, es decir dos formas del relieve del carso que pertenecen a una misma red de drenaje. Tres puntos distintos no dispuestos en una recta, pertenecen a un plano único, lo que puede corresponder a un mismo aparato o sistema cársico de drenaje. Una recta y un plano tienen un punto común. Este punto está representado por ejemplo, por un aparato cársico de geometría lineal en una misma superficie de erosión de igual cota.

Existen cuatro puntos que no se disponen en un plano y que son tales que cualesquiera tres de ellos no se disponen en una recta, esto se refleja en los relieves de montaña, donde formas a diferentes cotas están conectados y no están en una línea recta.

**Importancia de las redes** En la interpretación de las matrices se confecciona ecuaciones morfogenéticas que no representan más que los tipos de las redes del escurrimiento. Las redes se pueden señalar de acuerdo a la siguiente nomenclatura. R = red D = desintegradas I = integradas P = paleo redes

Si son redes elementales se designarán con letras mayúsculas. El modelo de las redes puede ser convergente y/o divergente. Si hay convergencia implica mezcla de mensajes de los afluentes y la divergencia partición de la información aguas abajo de las corrientes fluviales. En la ecuación Morfogenética que se confecciona como parte de la interpretación de las matrices, los paréntesis representan la separación de las redes, integrando una funcional, en cuyo caso se suman los componentes encerrados en el paréntesis. Cada ecuación representa una red integrada convergente o divergente, pero independiente de las restantes. De acuerdo al análisis de las redes y de sistemas, los tipos del escurrimiento superficial pueden tipificarse como sigue.

**Laminar**, que significa que no existe canal o cauce que concentre las aguas superficiales.

**Fluviales**, son las aguas que corren por una depresión longitudinal, es decir están encauzadas formando una red fluvial.

Para poder interpretar lo anterior se expondrá a continuación la Teoría de las redes como medio indirecto para la determinación de la circulación del agua subterránea.

**Definición de red:** Una red **G**, es la representación gráfica de una aplicación multívoca y esta constituida por un conjunto no vacío **V** de puntos, nombrados vértices de la red y por un conjunto **A** de líneas provistos o no de orientación, que respectivamente se denominan arcos o aristas (la ausencia de orientación puede ser interpretada como una doble orientación), que conectan, cada una, dos vértices (distintos o no) y ellos solamente. En este caso, los puntos o vértices son las formas del relieve y las líneas o arcos, son la conexión hidrológica entre dos formas del relieve.

La confección de una red permite ofrecer una representación simplificada de las relaciones existentes entre las formas del relieve que se analizan, aunque no brinda información de cada una de las formas del relieve. Para representar la circulación en una unidad hidrológica en el carso se utilizan las redes orientadas donde los vértices o puntos son finitos en números, formados por arcos, es decir por líneas que indican la orientación entre los vértices. Cuando se cumple una red orientada esta se denomina red completa y se denota como: es decir, si entre todo par de vértices existe al menos un arco, propiedad que se cumple entre las formas del relieve del carso conectadas hidrológicamente entre sí. Igualmente se cumple la propiedad de adyacencia, en dos vértices **X** e **Y** si **X = Y** y si



existe un arco tal que  $(X,Y) \circ (Y,X)$ . La circulación del agua subterránea en el carso cumple el término de camino que no es más que una secuencia  $(a_i, a_{j+1})$  de arcos, tal que la extremidad terminal de cada uno coincide con la extremidad inicial del siguiente. Concepto que se corresponde completamente con la ya aplicada teoría de los conjuntos y topológicos a los procesos morfogenéticos del relieve cársico. Sobre la base de estos conceptos aplicados y a las matrices ya explicadas a partir de la construcción e interpretación de matrices booleanas puede predecirse la orientación y estructura física de las redes orientadas. Definición : Sea una red orientada  $G = (V,A)$ , que posee  $n$  vértices su matriz booleana, denotada por  $B_g = [b_{ij}]$  es una matriz cuadrada, de orden  $n$ , cuyas filas y columnas se identifican por los vértices de  $G$  y sus elementos por:

$$b_{ij} = 1 \text{ si } (X_i, X_j) \in A$$

$$0 \text{ si } (X_i, X_j) \notin A$$

En este caso en la matriz, la existencia del 1 entre dos vértices o puntos, es decir dos formas de relieve (entre las formas del relieve) indica el sentido de la dirección del arco o arista, lo que significa que a partir de una matriz de este tipo entre los grupos de formas del relieve (absorción, conducción y descarga) puede confeccionarse la red o el camino de los arcos que integran la red orientada que se desea interpretar. En las matrices booleanas que representan redes orientadas, como el valor 1 indica la dirección del arco, aunque por las filas y columnas se verifiquen las mismas formas del relieve, la suma de los elementos  $\sum_j b_{ij}$  de un vértice en la columna no obtiene iguales valores que en las filas; lo que permite partiendo de una matriz, construir la red ordenada de los valores 1 y 0, trazando los caminos lógicos entre las formas del relieve del carso que indican el funcionamiento hidrológico, donde se proponen combinaciones posibles utilizando la confección de una Tabla de Verdad que antecede a la construcción e interpretación de la matriz de una red ordenada.

Modelo teórico para la identificación de los problemas ambientales geomorfológicos

<i>Conjunto de partida</i> →	<i>factores y variables</i> →	<i>conjunto de llegada</i>
Subsistema litoestructural relieve	procesos exógenos y endógenos	formas actuales del relieve
geológicos	Interacción de estímulos y evolución	acción de los eventos
	De las formas del relieve	futuros

Métodos de matemáticos no formalizados Lenguaje L1 SET.

Este lenguaje es el que permite mediante los símbolos de la matemática de la teoría de los conjuntos y los codificadores numéricos de matemática superior explicar los fenómenos naturales mediante expresiones matemáticas y es muy útil y práctico para ser utilizados en geomorfología.

Para la aplicación de este lenguaje en la caracterización de los grupos de formas del relieve y en particular del relieve cársico, fue necesaria la revisión de los fundamentales conceptos del análisis funcional y de los espacios métricos y topológicos.

Como resultado de este análisis, se confeccionó una matriz en modo Q de incidencia donde por el eje Y se ubicaron las formas del relieve y por el eje X las propiedades topológicas, de este análisis resultó una matriz que consta de dos partes. La primera donde se relacionan los conceptos de la teoría de los conjuntos con las formas del relieve y la segunda con los conceptos de los espacios métricos y topológicos, esto permitió confeccionar el trabajo denominado un análisis funcional de la evolución del relieve cársico.

La topología se enlaza con la estadística y el análisis matemático para poder realizar sus interpretaciones



Con los resultados de la matriz en modo Q de incidencia calculada en (1) se realizó el siguiente análisis

Análisis de la matriz:

Las formas del relieve cársico que se consideran en la matriz son las siguientes:

Micro formas y formas de reconstrucción (epigea e hipogea). - formas de absorción, - formas de conducción, - red fluvial, - formas de emisión, - asociaciones de formas del relieve, - interfluvios superficiales y subterráneos, región, sistema, aparato y formas cársicas, - grupo de formas y su posición espacial, estructura geológica, procesos exógenos, procesos hipógeos, patrones de la carsificación,

y los conceptos de la teoría de los conjuntos que se enlazan con las formas del relieve son:

Conjunto, subconjunto, correspondencia biunívoca, conjuntos numerables, equivalencia de conjunto, potencia de conjuntos. Función, imagen, imagen recíproca, aplicación, relación de equivalencia, relación de identidad, conjuntos parcialmente ordenados.

A partir de los conceptos que se exponen a continuación, es posible argumentar todo el aparato matemático siguiente, sin embargo es necesario un conocimiento elemental de los principios del análisis funcional y topológico para entender el desarrollo que aquí se expone:

Se denomina conjunto al conjunto de los números naturales, en el sentido matemático, así como los puntos de una recta. Este concepto es tan amplio que una definición estricta resulta difícil, por lo que en la actualidad es una disciplina vasta, cuya influencia es fundamental en las matemáticas y ciencias afines o aplicadas.

Su designación es mediante letras mayúsculas **A, B** etc., que representan el conjunto y sus elementos (**a, b**, etc.,) con minúscula. Podemos afirmar que  $a \in A$  o bien  $a \in A$ .

Dos conjuntos **A, B** si todos sus elementos que corresponden al conjunto **A** pertenecen también al conjunto **B** se denota  $A \subset B$ .

En el concepto básico de la teoría de las funciones se establece el de relaciones de equivalencia que por definición parte de la partición en clases, donde todo **f (x)** pueden partirse en clases, agrupando en una misma clase todos las funciones que tienen un mismo valor en un punto dado de **X**. Se llama relación de equivalencia cuando se reconocen entre dos conjuntos las siguientes tres propiedades:

**Reflexiva**  $a \in a$  para todo  $a \in M$

**Simétrica**  $a \in b$  y  $b \in a$

**Transitiva**  $a \in b, b \in c \therefore a \in c$

Toda partición de un conjunto en clases determina una relación de equivalencia. Y una función se reconoce mediante la expresión  $a \in X$  o  $y = f(x)$

El conjunto y formado por todas los valores que toma esta función es un campo de valores de la misma. Las implicaciones que se derivan del concepto de función, determinan la introducción de nuevos enunciados derivados de este, de gran importancia en el estudio del relieve. Entonces se considera el relieve a partir de la aplicación de estos conceptos como:  $\{x/x$  para la propiedad de P y compuestos por colecciones ordenadas  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  de los números reales donde  $\mathbb{R}^2 \{ (X_1, \dots, X_n) / X_1, \dots, X_n \} X \in \mathbb{R}$  entonces **R** es un espacio vectorial de **n** dimensiones. Antes esta definición donde se introduce el concepto de espacio vectorial, además del de las ya citadas métricas y topologías se hace necesario definir los otros conceptos de conjuntos. Se llama conjunto abierto en un subconjunto **U** de **R** si junto con todo punto de A que contenga una esfera con centra en A, es decir que un conjunto en si mismo contiene las propiedades de sus elementos



Por sus condiciones morfogenéticas e hidrodinámicas las formas del relieve son en sí mismas un espacio topológico y como son el resultado de todo un proceso complejo de formación cumplen la propiedad de campo de valores. Formas de conducción: Son espacios topológicos y conjuntos cerrados en sí mismos. Dada la gran diversidad de procesos hipogeos que en ellas ocurren, resulta un proceso numerable, un campo de funciones, que depende de cada conjunto del micro procesos morfogenéticos en el interior de cada cavidad. Esta compleja forma de relación de procesos permite establecer relaciones de aplicación entre cada una ellas. Formas de emisión: Constituyen el proceso de llegada o topología final de una asociación completa de la circulación de las aguas subterráneas y por tanto, un espacio topológico indiscreto, es decir, el elemento máximo de las asociaciones del relieve cársico.

Como resultado de estas interpretaciones se dedujo la siguiente interpretación que caracteriza el proceso morfogenético y dinámico del carso según las condiciones anteriores, lo que significa al nivel de sistema cársico que para todo sistema cársico, existe un continuo  $x$  de potencia  $n$  que incluye  $X_1, X_2, X_3, X_4$ , tal que  $X_1 \dots X_4$ , tienden a un continuo  $X$  de potencia  $n'$ , tal que  $n' > n$  siendo  $X_4$ , la aplicación de  $X_1 \dots X_4$  en  $X_4$ . O sea el continuo  $X$  de potencia  $n$  representa al carso en su etapa inicial que está compuesto de los diferentes tipos de espacio, que en su evolución morfológica da lugar a otro modelado cársico, en este caso  $Xn'$ , donde este es siempre mayor que el anterior  $n' > n$ , la progresión de la evolución implica la mayor disipación de la energía que da como resultado formas del relieve que son la aplicación en  $X_4$ , el relieve actual de cada espacio  $X_1 \dots X_4$ .

Clasificación geométrica de las formas del relieve cársico: El proceso geodinámico de formación de las formas del relieve cársico, permite establecer un esquema de evolución, donde cada grupo de formas responde a un comportamiento de distribución espacial dando lugar a morfología geométrica como resultado de los factores que le dan origen.

Entonces puede establecerse que: A- Grupo de formas lineales y/o métricas. Morfoalineamientos (red fluvial, escarpes, alineaciones) B- Grupo de formas de áreas. Espacios topológicos. Superficies del relieve, cuerpos litológicos y estructuras tectónicas areales C - Grupo de formas puntuales. Espacios métricos. Formas cársicas de absorción y descarga D- Grupo de formas mixtas. Espacios métricos y topológicos.

La línea geométrica del desarrollo evolutivo del relieve cársico es **Espacio puntual**: Intercepto entre dos espacios métricos **Espacio lineal**: Distancia entre elementos que cumplen las propiedades de una función unívoca real no negativa definidas para dos elementos  $X$  e  $Y$  de  $x$  constituido por un conjunto de puntos y una métrica introducida en el conjunto. **Espacio Areal**: Espacio topológico, conjunto  $X$  con su topología  $t$  definida en el, es decir el par  $(x, t)$

Aplicando el análisis de sistemas el carso puede expresarse como:

Conjunto de partida ➡ Comparación de topología lineal ➡ Conjunto de llegada		
El estímulo inicial	Interacción de estímulos	Entrega del efecto respuesta
Elemento mínimo		Elemento máximo
Ampliación de las formas del relieve	Desarrollo de las formas	Ampliación de las formas del relieve

Como parte de estos métodos se encuentra la interpretación geomorfológica del relieve mediante la aplicación de los métodos de análisis combinatorio y matemática superior. La base teórica será explicada más adelante, la metodología que permite esta aplicación es la siguiente:

## Bibliografía:



- Cendrero, A., J. R. Díaz y E. Francés (1996): Geología y ordenamiento de Espacios Litorales. Análisis de Casos. Separata.
- Díaz-Díaz, J. L. (1989) Relieve. Morfoestructura 1: 2 000 000, IV – IV.3.1. Nuevo Atlas Nacional de Cuba
- Díaz-Díaz, J. L. (1989) Relieve. Morfoestructura 1: 2 000 000, IV – IV.3.1. Nuevo Atlas Nacional de Cuba
- Guerra, M. G. (1998): Análisis Topológico del Relieve. Geología y Minería 98, Memorias II. La Habana.
- Guerra, M. G. (2002): Atributos e Indicadores Geomorfológicos Ambientales en los diferentes sistemas morfodinámicos ambientales cubanos. Forum XIV de Ciencia y Técnica IGA 2002. Libro de Resúmenes.
- Guerra, M, G, (2000) Los Factores geomorfológicos en los estudios ambientales territoriales municipales. Inédito
- Instituto de Geografía e Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, (1989) : Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Ed. Instituto Geográfico Nacional de España, Madrid, 647 mapas.
- Portela A., J.L.. Díaz, J.R. Hernández, A. Magaz, P. Blanco (1989): “Geomorfología” En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía e ICGC. Editores: Inst. Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección IV 3.2–3.
- Portela A., J.L.. Díaz, J.R. Hernández, A. Magaz, P. Blanco (1989): “Geomorfología” En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía e ICGC. Editores: Inst. Geográfico Nacional de España, Madrid, Sección IV 3.2–3.
- Ministerio de Medio Ambiente (1998): Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Serie monografías. Centro de publicaciones de Secretaría General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 809 pp.
- Verstappen and VanZuidam (1991): El Sistema ITC para Levantamientos Geomorfológicos. ITC. Publicación Número 10

## **APLICACIÓN DEL LENGUAJE VRML PARA LA VISUALIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE DATOS DE LAS GEOCIENCIAS**

Emilio R. Escarpín

*Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127, Cujae, Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba CP 19390, FAX: (537) 267 2013, Tel. 266 3262, e-mail: escartin@civil.cujae.edu.cu*

Las técnicas de visualización de datos en general y en las Geociencias en particular, es un campo que presenta un notable y sostenido desarrollo en los últimos años. El ejemplo más espectacular e impresionante en este campo se encuentra en las salas de visualización inmersiva, que desde finales de los años 90 emplean las grandes compañías petroleras en el proceso de interpretación de datos, principalmente sísmicos, para optimizar los plazos y la proyección de la red de explotación de los yacimientos. En estas aplicaciones, los equipos multidisciplinarios se sumergen literalmente en el espacio de los datos. Estas aplicaciones exigen una enorme cantidad de recursos tecnológicos, y de dinero, que naturalmente, una reducción de los plazos de explotación contribuye a compensar. En el presente trabajo se discuten varias posibilidades de utilización del lenguaje VRML (Virtual Reality Markup Language), que sustenta una variante de ambiente de Realidad Virtual no inmersiva, muchísimo menos exigente desde el punto de vista tecnológico, pero que puede ser aprovechado de forma casi inmediata en la presentación y visualización de datos de las Geociencias. En el trabajo se presentan varios ejemplos ilustrativos del uso del lenguaje VRML en la visualización de datos del dominio de las Geociencias



**“SOLUCIÓN CAD – SIG PARA MAPAS Y CÁLCULOS DERIVADOS DE UNA BASE TOPOGRÁFICA DIGITALIZADA EN TERCERA DIMENSIÓN (3D), UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE) O UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT) ”**

Ángel Corpas Toledo

*Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas*

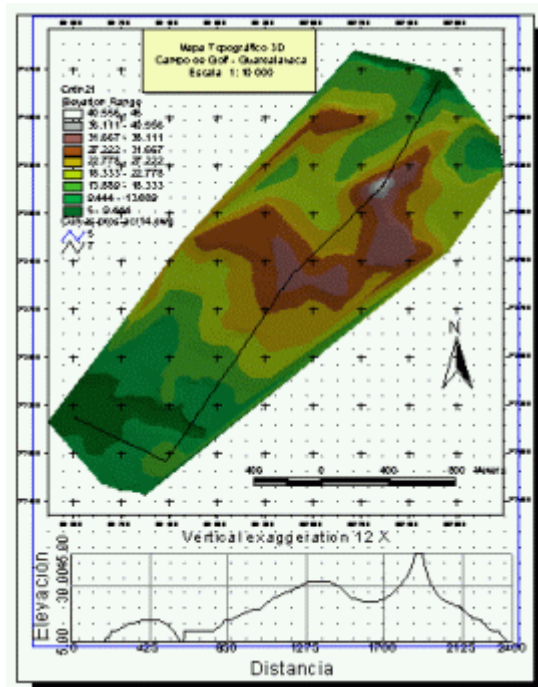
Es por todos conocidos el auge que ha adquirido en los últimos tiempos el **ArcView** como plataforma de Sistema de Información Geográfica y también como herramienta de gran utilidad práctica para obtener Mapas y generar automáticamente composiciones cartográficas que puedan ser impresas.

En este trabajo se realiza una presentación general del ArcView, en su versión 3.2 y se ofrece una **Solución Metodológica interactiva AutoCAD-ArcView** para la obtención de Mapas y Cálculos derivados de una Base Topográfica digitalizada en tercera dimensión (3D) en **AutoCAD Map R4**, los cuales resultan de gran interés durante las Investigaciones Ingeniero – Geológicas y Estudios Medioambientales.

Los **Mapas y Cálculos** objetos de análisis son:

1. Confección de la composición cartográfica del Mapa Topográfico en formato digital de dos dimensiones (2D) a la escala que se requiera. Válido para los restantes tipos de Mapas.
2. Obtención del Mapa Topográfico o de Relieve 3D.
3. Creación de Perfiles Topográficos.
4. Cálculo y dibujo de curvas de nivel con diferentes espaciamientos.
5. Generación de Modelos Sombreados.
6. Obtención del Mapa de Pendiente (grados de pendientes).
7. Obtención del Mapa del Aspecto o Direcciones de la Pendiente.
8. Cálculo de líneas de Visibilidad.
9. Cálculo de Cuencas Visuales.
10. Medición de Áreas y Volúmenes.

Finalmente se emiten varias **Conclusiones** que tienen gran utilidad práctica, ya que facilitan la aplicación interactiva del AutoCAD y el ArcView para solucionar de forma automatizada y en plataforma GIS parte considerable de la Cartografía Digital relacionada con las Investigaciones, aportando información de importancia para la confección de los Proyectos de obras de Arquitectura e Ingeniería, así como para los Estudios Medioambientales.



Composición Cartográfica de un Mapa de Relieve 3D.



## INTERPRETACION HEURISTICA DE DATOS SECUENCIALES MULTIPLES PARA EL COMPLEJO REDOX

**Osvaldo Rodríguez<sup>(1)</sup>, Manuel Pardo<sup>(2)</sup>**

**(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No. 169 esq. a Churrucá, Cerro, CP 12 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: [ormoran@ceinpet.inf.cu](mailto:ormoran@ceinpet.inf.cu)**

**(2) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca No. 1002 entre prolongación de Carretera Central y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: [pardo@igp.minbas.cu](mailto:pardo@igp.minbas.cu)**

### RESUMEN

Los Datos Secuenciales Múltiples (DSM) son un conjunto de atributos observados en el tiempo o a lo largo de una dirección. En esta estructura de observación, no solo es importante los valores de los atributos en cada uno de los puntos de la sucesión, sino que también es importante la posición de cada uno de ellos y su relación con los datos vecinos: delante y detrás de cada uno.

En las geociencias, el proceso de interpretación de las causas que provocan estas variaciones secuenciales múltiples es, en muchos casos, de naturaleza heurística. Esto significa, que la interpretación, no puede obtenerse de forma determinística sino que es necesario la participación un(varios) Experto(s) dado la naturaleza del fenómeno a que nos enfrentamos.

En este trabajo, se describe el proceso de modelación heurística en la interpretación de una secuencia de datos múltiples, aplicando el método de Similitudes de Patrones Múltiples en un Espacio Métrico.

### ABSTRACT

Multiple Sequential Data (DSM) are a group of attributes observed in the time or along the line. In this structure, not only it is important the values of the attributes in each one of the points of the succession, but rather it is also important the position of each one of them and their relationship with the neighboring data: before and behind of each one.

In the geoscience, the interpretation process of origin that it cause these multiple sequential variations is in many cases, of heuristic nature. This means that the interpretation cannot be obtained using any deterministic way but rather it is necessary the participation one(some) Expert(s) from the phenomenon nature.

In this paper is described, the interpretation heuristic process of a sequence of multiple data, applying the method of Similarities of Multiple Patterns in a Metric Space.

### INTRODUCCIÓN

En las geociencias, en general, abundan zonas de la investigación científica donde es necesario aplicar la Modelación bajo el Principio de la Analogía, es decir que, en el proceso de interpretación del fenómeno, consideraremos el grado de similitud y de diferencia entre el objeto y el modelo, a partir de las propiedades o rasgos fundamentales que describen al objeto. Esto está dado –en muchos casos- por el bajo grado de conocimiento de la naturaleza del fenómeno que nos ocupa, por lo que sería imprescindible apoyarse en la experiencia empírica de los científicos mejores conocedores del problema (Expertos), dándole a esta interpretación un enfoque heurístico. Los datos secuenciales son una estructura de observación unidireccional muy utilizada en las geociencias. Los datos derivados de esta observación secuencial poseen la característica de su posición relativa a lo largo de la secuencia de observación, además del resultado de la magnitud misma. La secuencia de estas



observaciones la llamaremos Perfil o Línea. Tenemos un Perfil cuando realizamos mediciones u observaciones –de una o varias variables- a lo largo del tiempo o a lo largo de una dirección o itinerario en el terreno, donde las observaciones se encuentran –en general- equidistantes una de otras.

Nuestro propósito es crear un procedimiento para que a partir de un conjunto de patrones establecidos por el personal de experiencia (Expertos), y mediante la aplicación de la Modelación bajo el Principio de la Analogía se pueda establecer un sistema de predicción de las causas que provocan los datos secuenciales múltiples observados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Partimos de la formalización del problema que debemos de enfrentar. Estableceremos una Línea o Perfil en el cual, se han realizado varias observaciones de atributos en cada punto de medición. En la Figura 1 presentamos el caso particular de una Línea o Perfil con cuatro atributos observados. En general representaremos analíticamente este Perfil de observación como:

$$V_{(i,j)} \quad \text{donde}$$

$i$ , indicará cada uno de los atributos observados y  $j$ , indicará la ubicación secuencial del elemento en la Línea o Perfil

Denominaremos  $nv$  el número de atributos o variables observadas y  $np$  el número de observaciones realizadas a lo largo del Perfil o Línea.

Los Patrones son tramos de Perfiles o Líneas que se seleccionan en el proceso de interpretación del(los) Experto(s) para cada uno de los casos prácticos. Cada Patrón representará una correspondencia entre la estructura de los datos observados y el fenómeno que se desea predecir. Estos elementos se normalizan para cada variable o rasgo y lo adelante se denominarán: Patrones de Datos Múltiples Normalizados (Figura 2) y se representarán como:

$$P^*_{(i,j)} \quad \text{donde } i, \text{ indicará cada uno de los atributos del patrón y } j, \text{ indicará la ubicación secuencial del elemento en el Patrón}$$

Denominaremos, como anteriormente se estableció,  $nv$  como el número de atributos o variables observadas y  $2r+1$  el número de elementos de que consta el Patrón. Esto significa que está diseñado con un número impar de elementos y que  $r$  representa el número de elementos a partir de su centro. Además  $r$  dependerá del paso de observación de los datos secuenciales y de la magnitud de los objetivos que se pretenden pronosticar mediante el principio de analogía. El asterisco indica que esta normalizado, es decir que cualquier elemento  $P_{(i,j)}$  cumple la condición:

$$0 \leq P_{(i,j)} \leq 1 \quad (1)$$

Partimos del presupuesto de que todos los atributos observados a lo largo del Perfil o Línea son variables numéricas, es decir que no observaremos elementos cualitativos ni k-valentes (Elementos representados por categorías).

## RESULTADOS

Sobre la base anterior podremos establecer una medida de similitud en un espacio métrico. Esta medida de similitud será el índice que establecerá la analogía entre los datos observados y los patrones correspondientes. Por lo que tomaremos como medida el Coeficiente de Correlación, el cual se indica como:



$$C = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - (\sum_{i=1}^N X)(\sum_{i=1}^N Y)}{\sqrt{\left[ N \left( \sum_{i=1}^N X^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N X \right)^2 \right] \left[ N \left( \sum_{i=1}^N Y^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N Y \right)^2 \right]}} \quad (2)$$

donde

**C** es el Coeficiente de Correlación.

**X** y **Y** representan las variables independiente y dependiente respectivamente.

**N** es el número de pares de puntos que se correlacionarán.

Para nuestro caso, **X** y **Y** representarán al Patrón y a la variable observada en el Perfil o Línea respectivamente.

Esta es una medida de similitud relativamente simple. Queremos llegar a que la analogía se reduzca a una comparación geométrica entre las curvas Patrón y la evaluada. Para esto, debemos normalizar el tramo de valores observados sobre la el Perfil o Línea que se seleccione, en el proceso de comparación. Esto es:

$$V_{i,j+k}^* = \frac{V_{i,j+k} - \text{MIN}(V_{i,j+k})}{\text{MAX}(V_{i,j+k}) - \text{MIN}(V_{i,j+k})} \quad (3)$$

donde **k**, será un número entero y variará desde **-r** hasta **r**. Aquí se ha supuesto que el tramo seleccionado está centrado en el elemento **j** del Perfil o Línea. Recordemos que **r** representa el número de elementos del Patrón a partir de su centro: **MAX(V<sub>i,j+k</sub>)**, es el valor máximo del atributo **i** en el intervalo de observación desde la posición **j-r** hasta **j+r**; **MIN(V<sub>i,j+k</sub>)**: es el valor mínimo del atributo **i** en el intervalo de observación desde la posición **j-r** hasta **j+r**.

Puesto que ambos -el Patrón y el atributo correspondiente- se encuentran normalizados, es que podemos establecer la correlación entre el atributo y su Patrón para una posición determinada dentro del Perfil. Esto es:

$$C_{i,j} = \frac{(2r+1) \sum_{k=-r}^r P_k^* V_{i,j+k}^* - \left( \sum_{k=-r}^r P_k^* \right) \left( \sum_{k=-r}^r V_{i,j+k}^* \right)}{\sqrt{\left[ (2r+1) \sum_{k=-r}^r P_k^{*2} - \left( \sum_{k=-r}^r P_k^* \right)^2 \right] \left[ (2r+1) \sum_{k=-r}^r V_{i,j+k}^{*2} - \left( \sum_{k=-r}^r V_{i,j+k}^* \right)^2 \right]}} \quad (4)$$

donde

**C<sub>i,j</sub>** representa el valor de similitud (entre los valores de -1 y 1) del atributo **i** con su patrón correspondiente en la posición **j** del Perfil.

Necesitamos pues, que la medida de similitud nos sirva para indicar el grado de analogía de los patrones a lo largo del Perfil, por lo que debemos establecer una Índice que englobe la medida de similitud en una posición del Perfil, para todos los atributos simultáneamente. Esto se logra con la participación también del(los) Experto(s), o por un análisis de los atributos utilizados, el cual debe establecer el grado de importancia de los atributos en la explicación del fenómeno que nos convoca. Por lo que podemos definir unos pesos para cada atributo o variable con la condición siguiente:

$$\sum_{j=1}^{nv} w_j = 1 \quad (5)$$

donde **w<sub>j</sub>** es el peso de del atributo **j**



Obsérvese que se ha obligado a que los pesos sumen uno, por lo que cada uno de ellos afectará la correlación correspondiente a su atributo en la fracción que le corresponda a esa variable. Ya entonces podemos establecer los valores de correlación para todo el perfil y que determinará el grado de analogía del patrón utilizado a lo largo de la Línea de observación. Esto es:

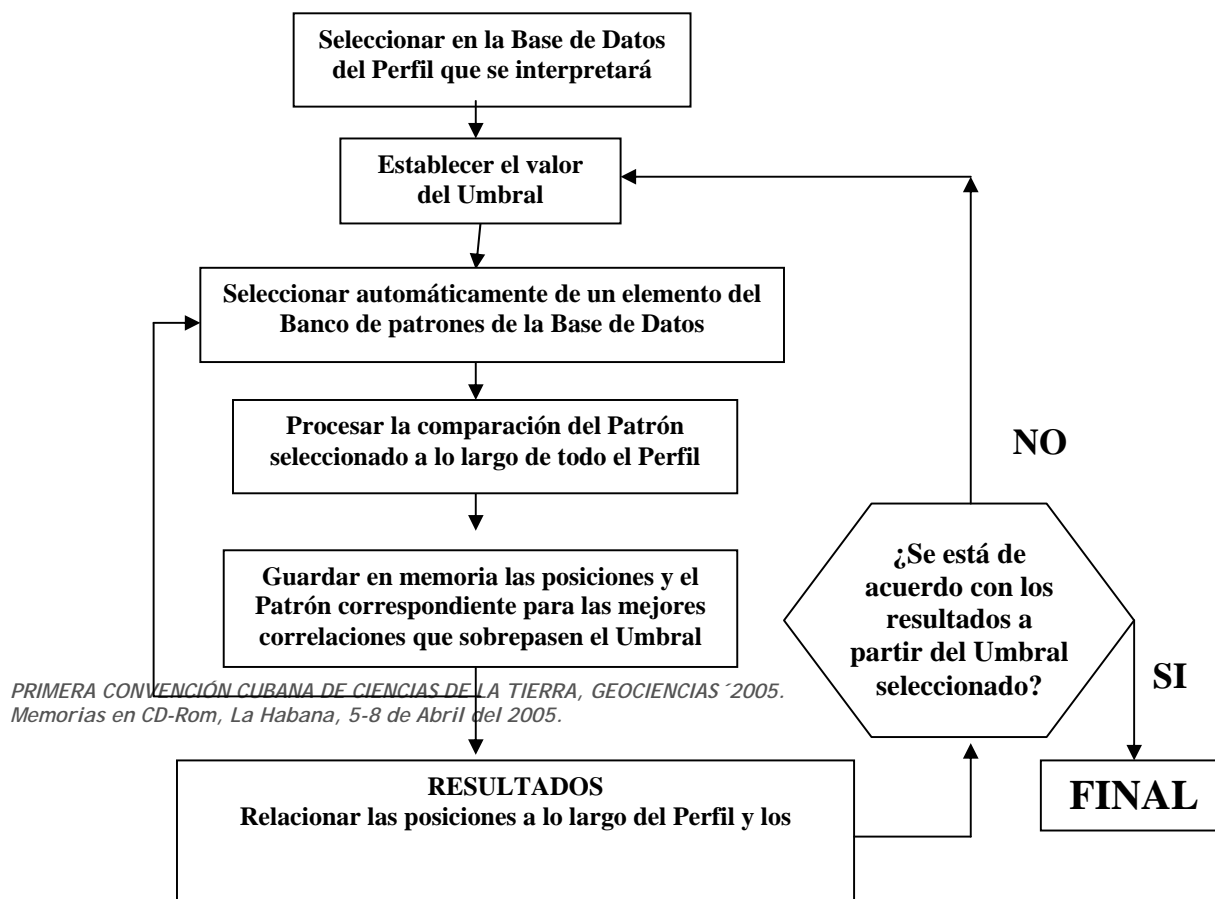
$$C_i = \sum_{j=1}^{nv} C_{i,j} w_j \quad (6)$$

donde  $C_i$  es el grado de analogía entre  $-1$  y  $1$  entre el Patrón y todos los elementos del perfil o Línea, pero nos preguntamos, ¿a partir de cuál valor entre  $-1$  y  $1$ , consideraremos que el Patrón representa con suficiente analogía el tramo del Perfil dado?

Pues se establece un valor de Umbral, a partir del cual, consideraremos que esa posición del perfil el Patrón satisfaga los preceptos de analogía. En la Figura 3 se presenta un ejemplo gráfico del valor de Correlación a lo largo del Perfil o Línea y el corte que realiza el nivel de Umbral (0.8). Este Umbral representado determina que las posiciones  $P_1$  y  $P_2$  dentro del Perfil, podrían tomarse como los lugares donde los patrones establecen las mayores analogías. En el proceso de toma de decisiones, la naturaleza de los fenómenos que involucran la definición de los Patrones, podrán asociarse respectivamente en las posiciones seleccionadas:  $P_1$  y  $P_2$ . Si consideramos que poseemos un Banco de Patrones, donde cada uno de ellos representa una variedad y riqueza de fenómenos estudiados, entonces consideraremos todo el proceso anterior para cada uno de los Patrones del Banco y finalmente estableceremos que si en una posición del Perfil varios Patrones del Banco, sobrepasan el valor del Umbral establecido en el proceso de reconocimiento, entonces podemos tomar, de ese conjunto el que mayor valor de similitud posea.

## DISCUSION

Este método fue desarrollado en un algoritmo de aplicación, el cual toma la información de una Base de Datos donde se encuentran, tanto los Perfiles o Líneas que serán interpretadas como el Banco de Patrones preparados previamente con el(los) Experto(s). A continuación se expone el diagrama de actividades del proceso general de algoritmización.







Se diseñó esta aplicación directamente en Microsoft Access para acceder directamente tanto a los Perfiles que se deseen interpretar como al Banco de Patrones. En la Figura 4 aparece la imagen del formulario para esta interpretación. En ella se muestra el caso del Perfil 3M, el cual se procesará con un Umbral de 0.8. En la lista central aparecen los resultados, es decir, para cada una de las Estacas de medición el valor de correlación correspondiente.

Accionando el botón con rótulo "Gráfico" de la parte inferior del formulario, se generará el gráfico correspondiente a Estacas vs Correlación. En la Figura 5 se muestra este gráfico. Véase que existe una sola posición a lo largo del perfil en que el gráfico de correlación sobrepasa el valor del Umbral (0.8) y es para la Estaca número 80 del Perfil. Para este caso, se podrá aplicar el principio de analogía en este punto de la Línea. Se aplicó esta técnica a la interpretación de los datos del área de Ceballos en la Cuenca Central de Cuba.

## CONCLUSIONES

- ❑ Se pudo establecer un método para modelar heurísticamente el proceso de interpretación de Datos Secuenciales Múltiples.
- ❑ Se automatizó el proceso interactuando con las Bases de Datos de donde se encuentran los Perfiles que se interpretarán y el Banco de Patrones.

## BIBLIOGRAFIA

- ❑ Davis, J.C., 1986: **Statistic and data analysis in geology**. John Wiley and Sons. Inc. Surv. Circ. 1006, 217 p.
- ❑ Ruiz Shulcloper, J., 1990: **Modelos Matemáticos para el Reconocimiento de Patrones**. Folleto de la Universidad Central de las Villas, Facultad de Matemática, Física y Computación.
- ❑ Pardo, M.E., 1991: **Tópicos metodológicos en las investigaciones geólogo-geofísicas aplicadas a la evaluación de recursos**. Notas de Clase del Curso, 70 p.

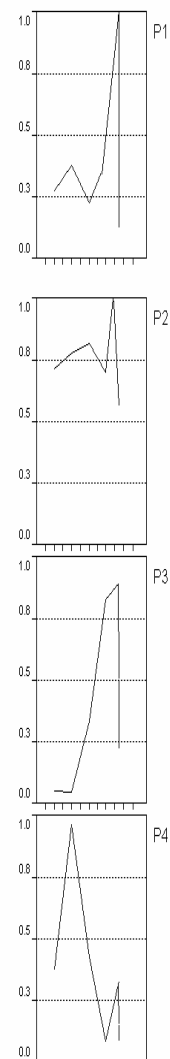
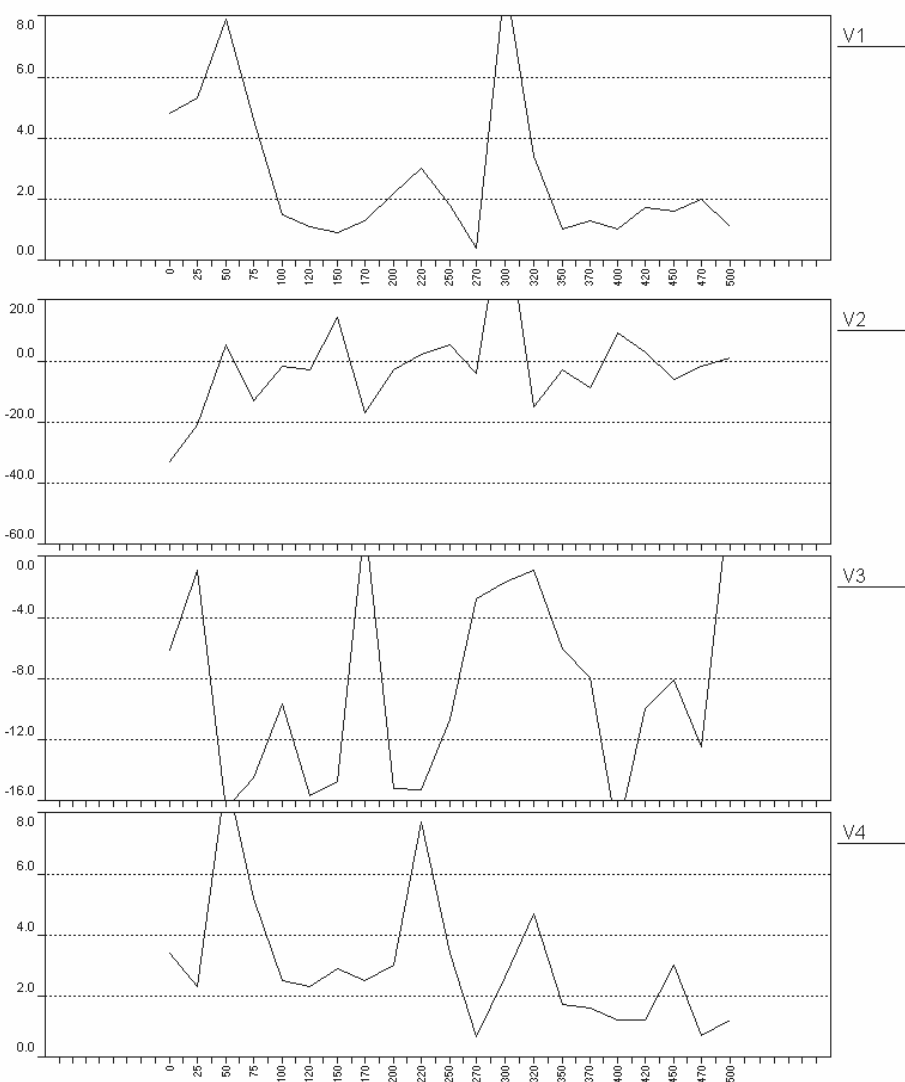




Figura 1. Ejemplo gráfico de representación de datos secuenciales múltiples.

Figura 2. Ejemplo gráfico de representación de los Patrones de Datos Múltiples Normalizados.

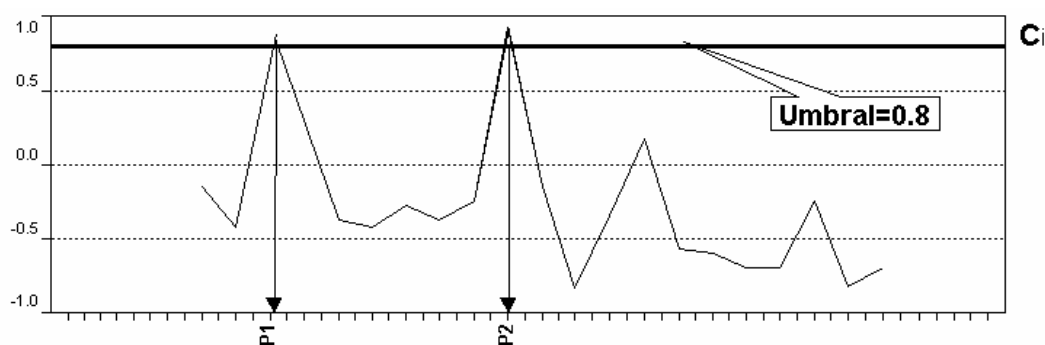


Figura 3. Ejemplo gráfico del valor de Correlación a lo largo del perfil o Línea y el corte que realiza el nivel de Umbral (0.8).



Figura 4. Muestra de la pantalla del algoritmo que recoge de la Base de Datos el Perfil 3Me y con un Umbral de 0.8 ejecuta la interpretación.

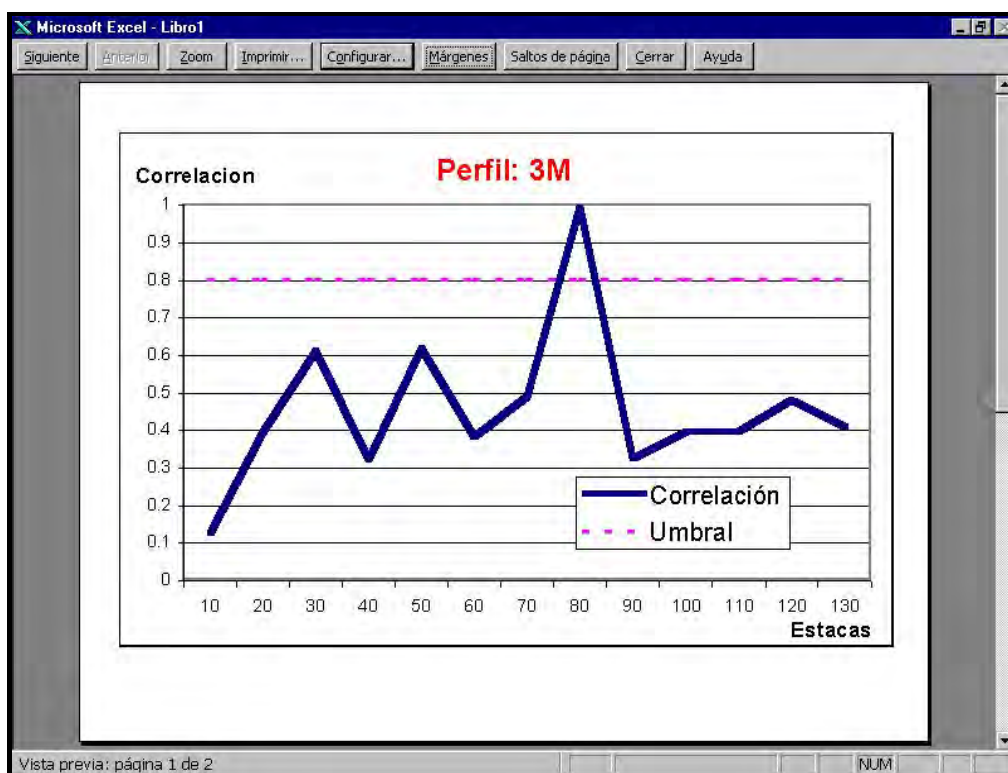


Figura 5. Presentación del gráfico resultante de la interpretación del Perfil 3M para un valor de Umbral de 0.8..



# TECNOLOGÍA SIG PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE OROGRAFÍA Y RUGOSIDAD DE COBERTURAS TERRESTRES EN LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO DE CUBA

**Msc. Hazel Carrasco Pérez(1), Dr.C. Eduardo Garea Llano(2)**

(1) Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados (GEPROP), CITMA; Calle 20 No.4112/18ª y 47 Miramar, Playa, Ciudad de La Habana CP 11300, Cuba, E-mail: [hazel@geprop.cu](mailto:hazel@geprop.cu)

(2) Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada (MINBAS), Calle 7ma No 21812 /218 y 222 Reparto Siboney, Playa, Ciudad de La Habana CP 12200, Cuba. E-mail: [egarea@cenatav.co.cu](mailto:egarea@cenatav.co.cu)

## RESUMEN

Se presentan dos esquemas metodológicos aplicando tecnologías de la cartografía digital, los Sistemas de Información Geográfica y el Procesamiento Digital de Imágenes.

El primero está dirigido a la obtención de mapas de orografía del terreno y la elaboración de ficheros de entrada al modelo matemático de simulación Danés WAsP, para la evaluación de la componente relieve en el potencial de energía eólica y sobre la base del Modelo Digital del Relieve en formato vectorial, su conversión a formato .map, su integración al Sistema WAsP así como la comprobación de los mismos.

El segundo se encamina hacia la obtención de mapas de rugosidad de las coberturas terrestres para la evaluación del grado de resistencia de las diferentes coberturas al paso del viento y la valoración del potencial de energía eólica, se desarrolla sobre la base de integración de información de diferentes mapas de vegetación, la clasificación supervisada de imágenes satélites Landsat 7, el establecimiento de coeficientes de rugosidad tomando en cuenta las características de las coberturas presentes en Cuba y su integración al modelo WAsP.

Estos esquemas permiten la obtención de mapas digitales de orografía y rugosidad en formato WasP a cualquier escala y alta precisión, que permiten realizar junto a los datos meteorológicos una correcta evaluación del potencial de la energía eólica en cualquier región del territorio nacional. Este trabajo se desarrolló como parte del proyecto internacional SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) para la evaluación mundial de este recurso.

## ABSTRACT

Two methodological outlines are presented applying technologies of digital cartography, the Geographical Information Systems and Digital Prosecution of Images.

The first one is directed to obtaining orography maps of the land and the setting up of entrance files to the mathematical pattern of Danish simulation WasP, for the evaluation of the component relief in the potential of eolic energy and on the base of the Digital Pattern of the Relief in vectorial format, their conversion to format .map, their integration to the System WAsP as well as the confirmation of the same ones.

The second addresses the obtaining of maps of roughness of the terrestrial coverings for the evaluation of the resistance degree from the different coverings of the wind's flow path and the evaluation of the potential of eolic energy, it is developed on the base of integration of information of different maps of vegetation, the supervised classification of images satellites Landsat 7, the establishment of roughness of coefficients taking into account the characteristics of the present coverings in Cuba and their integration to the pattern Wasp.

These outlines allow the obtaining of digital maps of orography and roughness in format WasP to any scale and high precision that allow to carry out along with meteorological data a correct evaluation of the



potential of the eolic energy in any region of the national territory. This work was developed as a part of the international project SWERA (Solar and Wind Energy Ressource Assesment) for the world's evaluation of this resource.

## INTRODUCCION

La energía eólica ha alcanzado un nivel de difusión tal en el mundo, que hoy (hasta el 2002) la capacidad instalada se estima en más de 30 379 MW eólicos, estando Europa a la cabeza y en particular Alemania y España. La Organización EurObsev'ER señala que, con los MW instalados en el mundo se benefician alrededor de 17 millones de hogares, y puntualiza que hasta el 2001, se habían creado 70 000 empleos en este sector.

Hace apenas unos años, los aerogeneradores con una capacidad de alrededor de 750 kW eran los modelos comúnmente utilizados en el mundo. No fue hasta finales de los años 90 que el desarrollo tecnológico alcanzó un ritmo vertiginoso, y actualmente con rango de potencia entre 1 500 y 1 700kW, con diámetros del rotor mayores que 72 m y diseñados para emplazamientos con velocidades madias mayores o iguales que 6.5 m/s, son los de mayor demanda en el mercado, por su fiabilidad y competitividad.

El desarrollo de métodos de evaluación del potencial eólico bajo diferentes condiciones del terreno, alcanzó su nivel más alto en los Atlas de Europa y los Estados Unidos (Petesen y Troen, 1986; Elliott et al, 1987). El WAsP (Wind Atlas Análisis and Application Program), es el resultado más palpable de este desarrollo (DMWE, 1995). Las metodologías del WAsP se han utilizado en más de 75 países del mundo, y cuentan con gran aceptación entre los especialistas. Actualmente se trabaja con métodos que fusionan el UASP con modelos regionales para obtener Atlas Eólicos Numéricos (Frank et al, 2001). En forma sencilla, las metodologías del WAsP fueron utilizadas para confeccionar el Atlas Eólico Preliminar de Cuba (Soltura et al, 1996; 2001), donde se resumen por primera vez las características y climatológicas del recurso eólico en nuestro país.

El presente trabajo forma parte de una de las tareas del proyecto internacional SWERA (Solar Wind Energies Resources Assessment), aprobado y auspiciado por el programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), y propuesto por dos prestigiosas instituciones científicas mundiales, el Laboratorio de energías Renovables de los Estados Unidos y el Laboratorio Nacional Riso, en Dinamarca. Por la parte cubana, este proyecto es coordinado por el Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados (GEPROP) y el Instituto de Meteorología es responsable de la tarea de evaluación del potencial eólico en Cuba; ambos centros pertenecen al CITMA.

En el presente trabajo se obtienen dos esquemas metodológicos aplicando tecnologías de la cartografía digital, los Sistemas de Información Geográfica y el Procesamiento Digital de Imágenes. El primero dirigido a la obtención de Mapas de orografía para la evaluación de la componente relieve en el potencial de energía eólica y el segundo se encamina hacia la obtención de los mapas de rugosidad de las coberturas terrestres para la evaluación del grado de resistencia al paso del viento permiten la obtención de mapas digitales de orografía y rugosidad en formato WasP a cualquier escala y alta precisión, que permiten realizar junto a los datos meteorológicos una correcta evaluación del potencial de la energía eólica en cualquier región del territorio nacional.

En conformidad con los objetivos del proyecto SWERA, en el presente trabajo se propone aplicar el WAsP para obtener el Atlas de los recursos eólicos de Cuba, y en segundo lugar,





aprovechar el bloque de aplicaciones del WAsP para obtener un grupo de indicadores técnico-económicos que posibiliten crear un marco cualitativo de la referencia acerca de la viabilidad del uso de la tecnología eólica en Cuba.

## MATERIALES Y METODOS

Se llama rugosidad del terreno al efecto conjunto de la superficie del terreno y los obstáculos, los cuales conducen a un retardo del viento cerca del suelo. La vegetación y las edificaciones son ejemplo de elementos de la rugosidad, mientras que las colinas largas y suaves no, debido a que ellas por sí mismas no causan un incremento en la turbulencia del flujo. La rugosidad de un área dada está determinada por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que contienen. Por tal motivo a cada tipo de cobertura terrestre se le puede asociar una clase de rugosidad. (Tablal)

Tabla I. Descripción de la rugosidad teniendo en cuenta las características del paisaje cubano.

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad (m)	Tipo de paisaje
0	0,0002	Superficie de agua (mar abierto, lago, presa), con apariencia abierta de varios kilómetros.
0,5	0,005	Terreno completamente abierto con una superficie lisa (por ejemplo: pistas de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc.); tierra desnuda, arena de costa (playas), vegetación de costa rocosa con alturas entre 0.5 y 1m.
1	0,03	Área agrícola abierta sin cercados ni arbustos y con edificaciones muy dispersas. Solo colinas suavemente redondeadas. Vegetación de costa arenosa, herbazal de ciénaga, sabanas seminaturales y antrópicas
1,5	0,06	Terreno agrícola con algunas casas y arbustos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1250 m. Vegetación de mogotes.
2	0,1	Terreno agrícola moderadamente abierto con algunas casas y arbustos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m. Cultivos bajos (caña de azúcar, tabaco, etc.); matorrales (marabú); plantaciones forestales jóvenes menores de 4 m (pinos, eucaliptos, majagua, etc.).
2,5	0,2	Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos resguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 250 m. Bosque degradado 3-4 m de altura, bosque de galería y frutales.
3	0,35	Bosque semideciduo y bosque de mangles (mangle prieto, mangle rojo, llana y patabán).
3,2	0,4	Ciudades pequeñas, áreas suburbanas, terreno agrícola con muchos o altos setos resguardantes, bosques de pinos y terreno accidentado y muy desigual.
3,3	0,5	Bosque pluvial y bosque siempreverde (ubicados en macizos montañosos).
3,7	1,0	Ciudades más grandes con edificios altos (por ejemplo: Ciudad de La Habana)



El desarrollo de métodos de evaluación del potencial eólico bajo diferentes condiciones del terreno, alcanzó su nivel más alto en los Atlas de Europa y los Estados Unidos. El WAsP es el resultado más palpable de este desarrollo (DMWE, 1995).

Las metodologías del WAsP se han utilizado en más de 75 países del mundo, y cuentan con gran aceptación por los especialistas.

Actualmente se trabaja en el desarrollo de métodos que fusionan el WAsP con modelos regionales para obtener Atlas Eólicos Numéricos. En forma sencilla las metodologías del WAsP fueron utilizadas para confeccionar el Atlas Eólico Preliminar de Cuba (Soltura et. Al., 1996, 2001) donde se resumen por primera vez las características estadísticas y climatológicas del recurso eólico en nuestro país.

A continuación se muestran dos esquemas. El primero (Fig 1) explica por sí solo la obtención de mapas de rugosidad para la evaluación del grado de resistencia de las mismas al paso del viento y la valoración del potencial de energía eólica, se desarrolla sobre la base de integración de información de diferentes mapas de vegetación, la clasificación supervisada de imágenes satélites Landsad 7, el establecimiento de coeficientes de rugosidad tomando en cuenta las características de las coberturas presentes en Cuba y su integración al modelo WAsP.

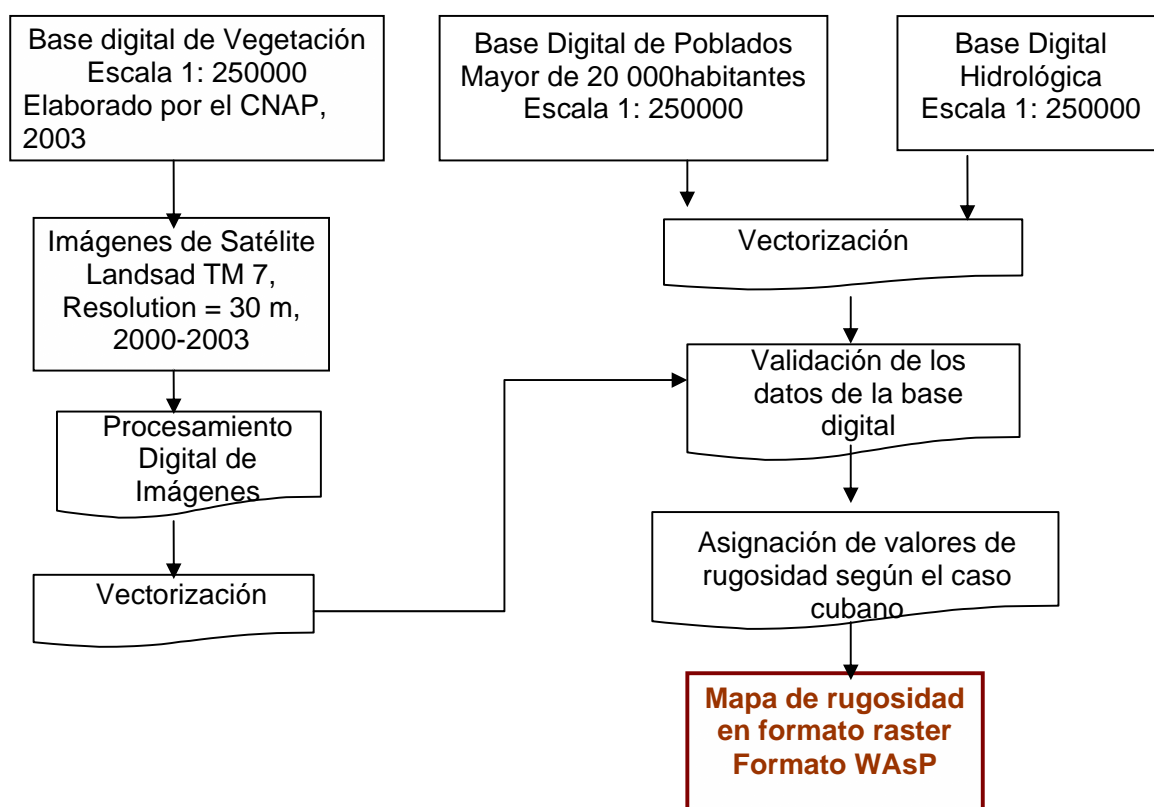


Fig 1. Esquema tecnológico general para la creación del Mapa de Rugosidad para WAsP

Toda esta información (hasta la validación de los datos en formato digital) fue volcada sobre un Sistema de Información Geográfica. La capa de vegetación, la cual es de tipo poligonal, y con los valores de rugosidad según cobertura, es incorporada a un software de tipo CAD, para la



realización de la topología arco-nodo, paso este imprescindible para exportar el fichero en formato aceptado por el WasP (Map Editor); una vez en este último es colocada la rugosidad para cada tramo arco-nodo.

De igual forma, con los valores de orografía del terreno, se incorpora un fichero en formato \*.dxf, para finalmente tener una salida del WasP en formato \*.map.

El segundo esquema (Fig 2) muestra la obtención de los mapas orográficos a partir de la base digital del relieve a escala 1 : 250 000

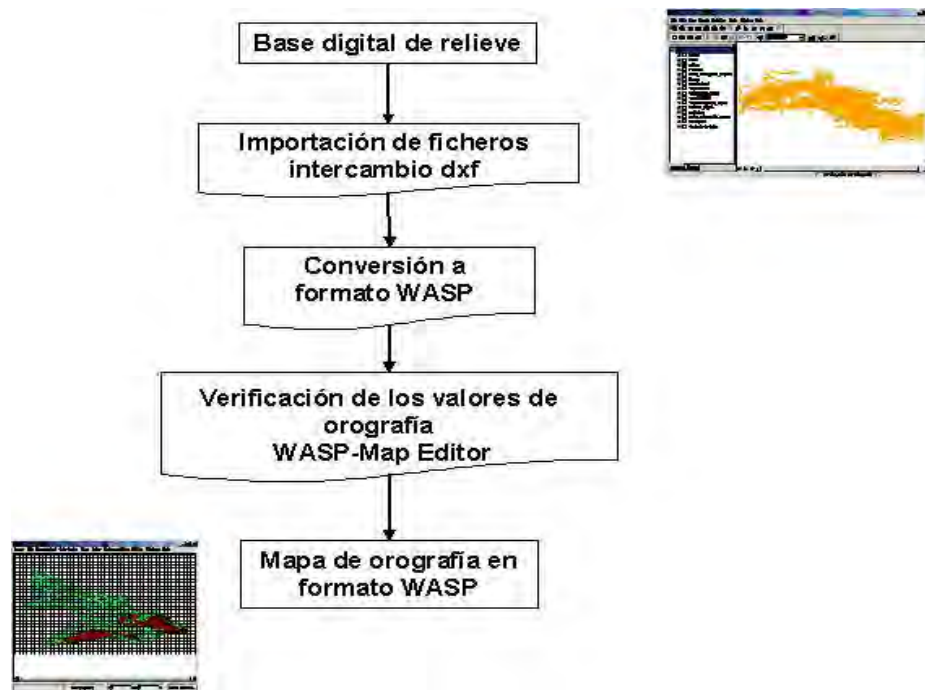


Fig 2. Esquema tecnológico general para la creación del Mapa de Orografía para WASP.

Ambos Mapas (Rugosidad y Orografía) son unidos en un mismo fichero para posteriormente realizar el análisis de las series temporales de velocidad y dirección del viento, la generación de los datos del atlas de viento, la estimación del clima del viento, del potencial de energía y el cálculo de la producción de energía de un parque eólico.

## RESULTADOS

Como resultado de este estudio se obtiene el Mapa de Rugosidad al cual previamente le fue aplicada la topología arco-nodo y montado en un mismo layer la información de la hidrología, los poblados con un número mayor de 20 000 habitantes y la rugosidad asignada a las distintas coberturas terrestres de nuestro país (Fig 3); de orografía (Fig 4) colocando correctamente el valor de la altura para cada isolínea y la unión de ambos mapas en formato WASP que es la extensión del fichero salida del WasP.

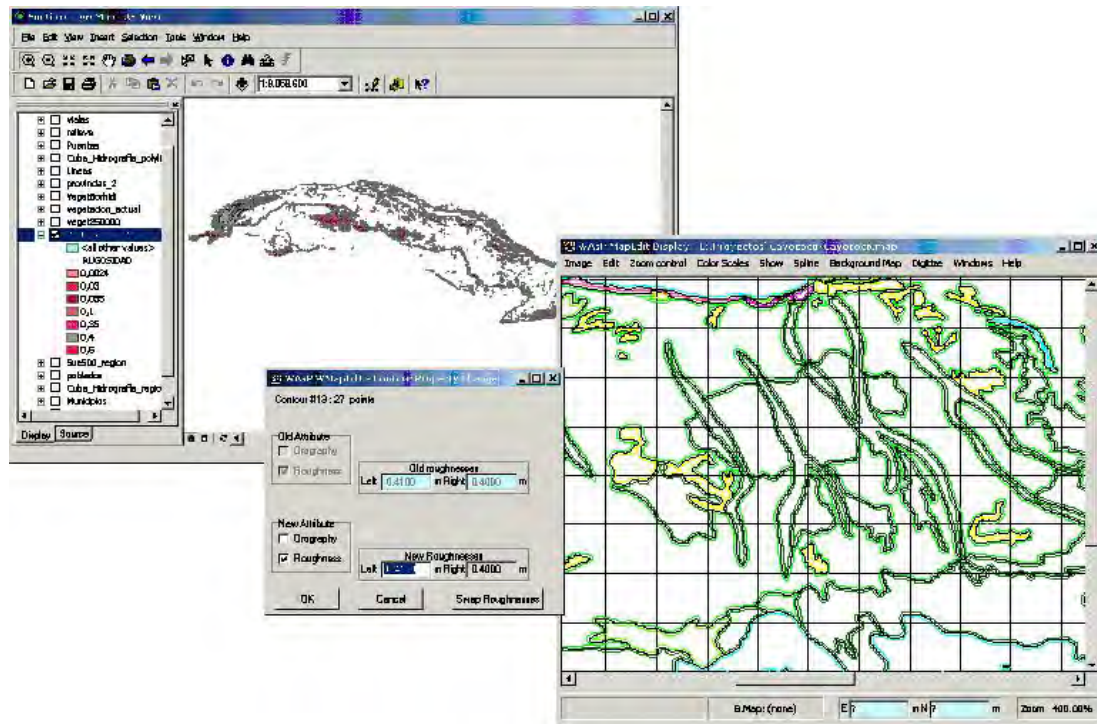


Fig 3. Obtención del Mapa de rugosidad de Cuba (en elaboración)

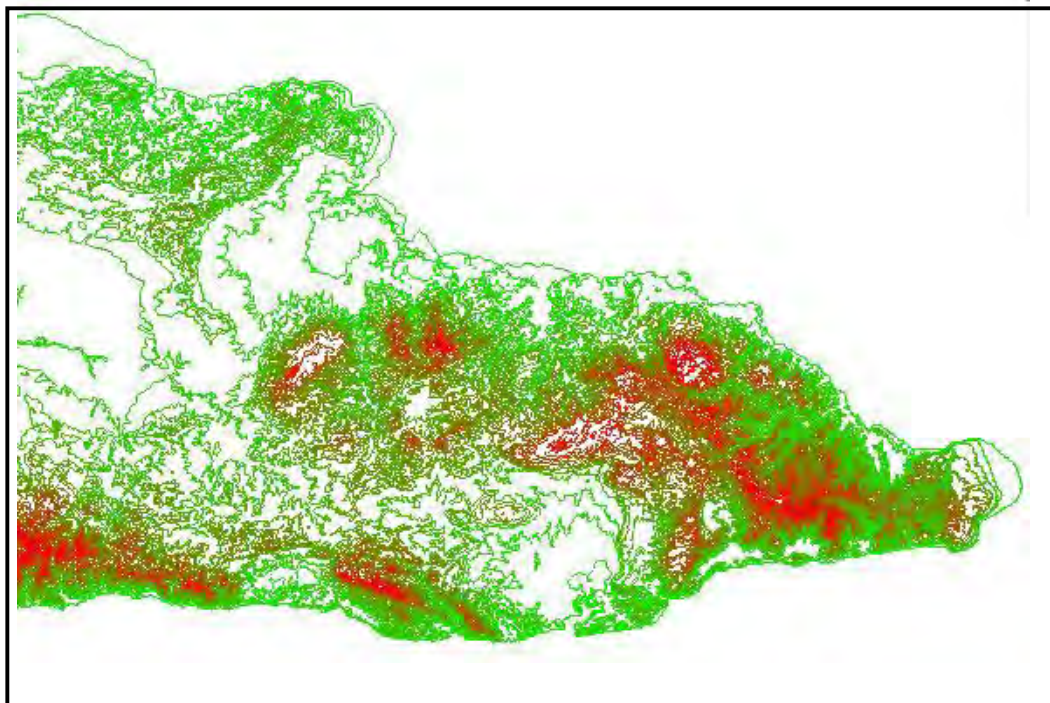


Fig 4. Mapa de orografía. Sector oriental. Cuba





## DISCUSION

La rugosidad para el caso de nuestro país fue dividida en 10 clases típicas, asociados a ellas esta un valor de longitud de rugosidad, que en términos físicos es la altura sobre el suelo en que la velocidad media del viento es igual a cero.

Una vez obtenido el Mapa de Rugosidad elaborado por Cuba (Fig 5) y el Mapa de rugosidad de NREL (Fig 6), convirtiendo dichos mapas en formato raster, y aplicando las bondades de los Sistemas de Información Geográficos se obtuvo un indicador relativo ( $\eta$ ) con el fin de validar el resultado obtenido por ambos grupos de investigadores.

$$\eta = (R_{NREL} - R_{CUBA}) / (R_{NREL} + R_{CUBA}) / 2.$$

$R_{NREL}$ : Rugosidad obtenida por especialistas de NREL

$R_{CUBA}$ : Rugosidad obtenida por especialistas de Cuba

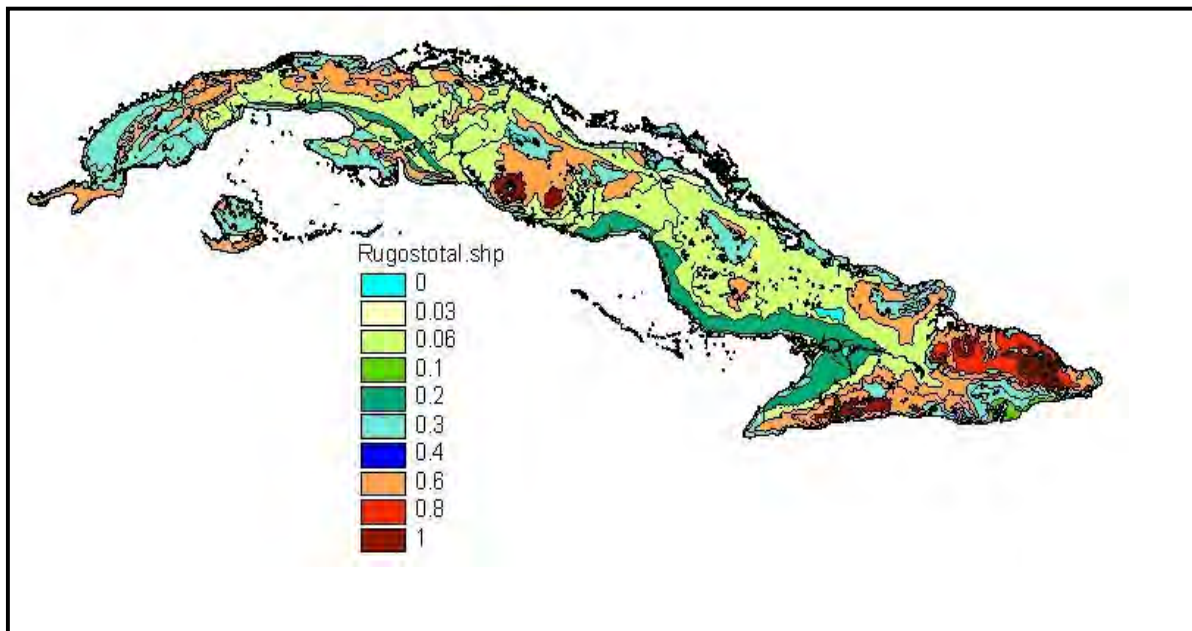


Fig 5. Mapa raster de rugosidad obtenido Cuba.

A partir del análisis de este indicador se muestra que existen largas zonas donde las diferencias entre ambos valores de rugosidad son significativas ( $\eta < -0.4$  and  $\eta > 0.4$ ), de igual forma existen lugares donde los valores de rugosidad obtenidos por Cuba son mayores y otros donde son mayores los valores de rugosidad obtenidos por NREL.

Esto significa que se debe hacer un trabajo de conjunto entre ambos grupos de investigadores para ultimar detalles acerca de la metodología de obtención de los resultados. Es conocido que cuando se obtiene el mapa de vegetación a partir de imágenes satelitales, no se puede tener en consideración la altura de la misma, lo cual es un factor también a tener en cuenta en el momento de asignar los valores de rugosidad a las coberturas terrestres.

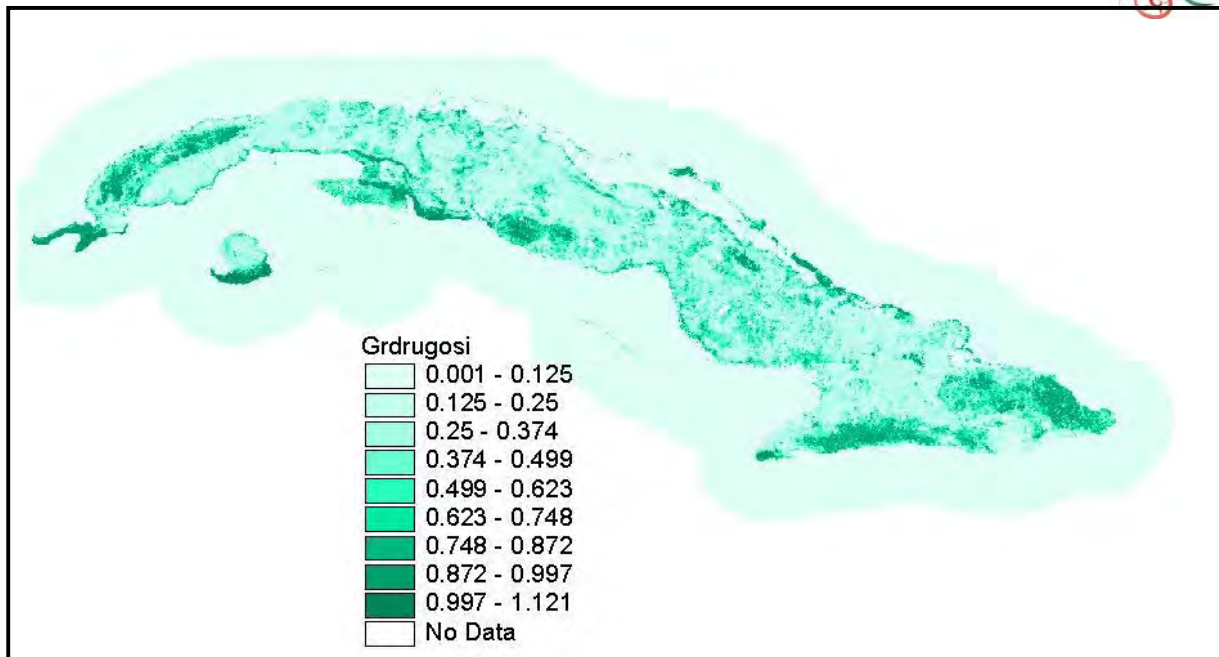


Fig 6. Mapa raster de rugosidad obtenido por el laboratorio NREL.

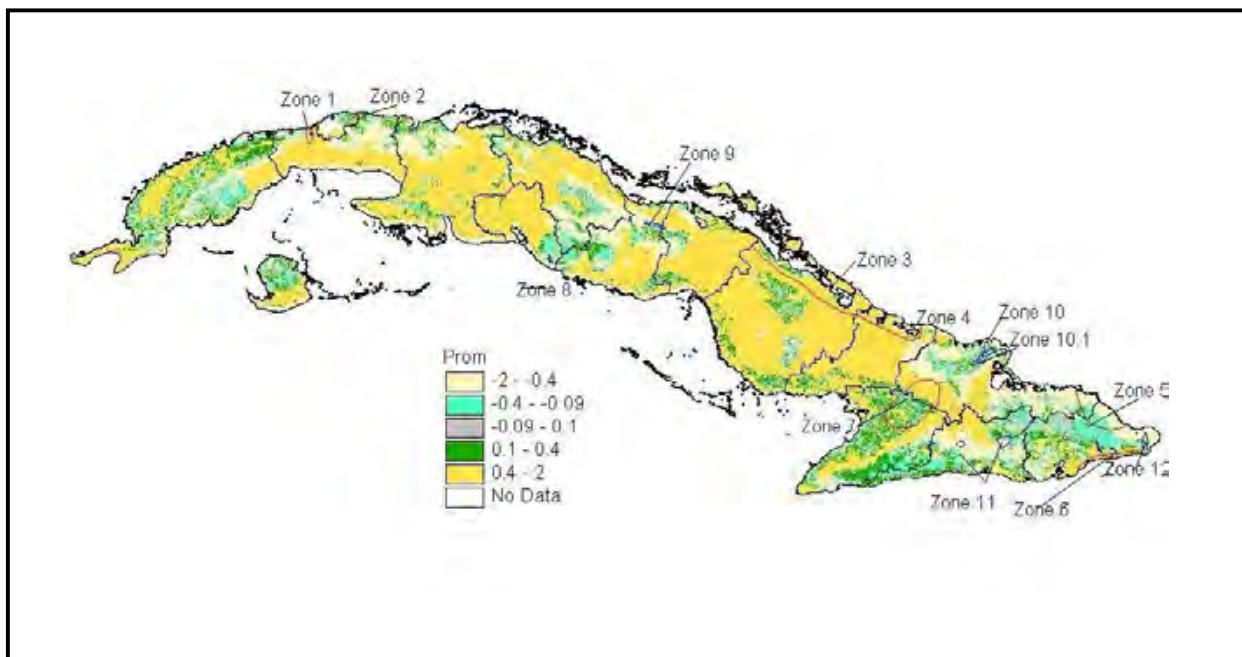


Fig. 7 Comparación de los mapas de rugosidad desarrollados por el grupo de NREL y Cuba empleando el indicador relativo  $\eta$

Para desarrollar un análisis más específico fueron identificadas zonas de interés identificadas por los expertos cubanos (zonas 1-7) y zonas clasificadas como buenas y excelentes producidas por los expertos de NREL (zonas 8-12)





Tabla II. Valores de Rugosidad en zonas de interés para los expertos cubanos

Zona	Potencial eólico	Valores de Rugosidad	Posible causa de la diferencia de rugosidad
1	Cuba > NREL	Cuba ~ NREL	Otras
2	Cuba > NREL	Cuba < NREL	Rugosidad
3	Cuba > NREL	Cuba < NREL	Rugosidad
4	Cuba > NREL	Cuba < NREL	Rugosidad
5	Cuba > NREL	Cuba ~ NREL	Otras
6	Cuba > NREL	Cuba > NREL	Otras
7	Cuba > NREL	Cuba < NREL	Rugosidad
8	Cuba > NREL	Cuba ~NREL	Otras
9	Cuba > NREL	Cuba > NREL	Otras
10	Cuba > NREL	Cuba > NREL	Otras
10.1	Cuba > NREL	Cuba > NREL	Otras
11	Cuba > NREL	Cuba > NREL	Otras
12	Cuba > NREL	Cuba < NREL	Rugosidad

Este análisis mostró que existen solo tres zonas donde los valores de rugosidad obtenidos por ambos grupos son similares, lo que lleva a la conclusión de necesitar trabajar de forma más unida para unificar criterios en cuanto a metodologías de obtención del mismo parámetro.

## CONCLUSIONES

1- Se obtuvieron los esquemas metodológicos para:

- creación del Mapa de Orografía de Cuba para WASP;
- creación del Mapa de Rugosidad de Cuba para WASP.

2- Se crearon los mapas bases en formato SIG para el trabajo en el proyecto SWERA

3- Con la combinación de métodos de análisis SIG es posible desarrollar aplicaciones para la evaluación de factores naturales, sociales y de infraestructura en la estimación de la factibilidad de instalación de diferentes tipos de energía renovable

## BIBLIOGRAFIA

Elliot, D., C Holladay, 1987. Wind Energy Resource Atlas of United States. DOE/CH 10093-4, Institute Golden Colorado: 245-332.

DMWE (Departament of Meteorology and wind Energy) (1995) WAsP Newsletter

Frank H, O Rathmann, 2001. The numerical Wind Atlas. The KAMM/WAsPMethod. Riso-R1252(EN) Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark.

Soltura, R., S. Rodríguez, (1996). Atlas Eólico de Cuba. Revista Cubana de Meteorología. Estadística y Climatología. Potenciales climáticos de generación eolo - eléctrica y bombeo eólico. VII Congreso Argentino de Meteorología: 1-15

Soltura, R., S. Rodríguez, (1996). Actualizaci'on de los modelos f'isicos y estad'isticos del Atlas eólico de Cuba. Revista cubana de Meteorolog'ia, Buenos Aires. Vol(8). No. 1: 1-20 83-95



Troen, I y E. Petersen, (1989). European Wind Atlas Riso National Laboratory, Roskilde, Dinamarca.



## **DETERMINACIÓN DE FICHEROS PATRONES GEOFÍSICOS BIDIMENSIONALES PARA LA CLASIFICACIÓN DE CAPAS INGENIERO GEOLÓGICAS.**

**Mario Sánchez Ricardo<sup>(1)</sup>**

(1) Empresa de Proyectos e Investigaciones. Carretera Central vía a Bayamo. Km 2 ½. Holguín. Teléfonos 42 5336. Fax 42 8072, email: [empi.ubp.hol@enet.cu](mailto:empi.ubp.hol@enet.cu).

### **RESUMEN**

La motivación para el desarrollo del trabajo que se presenta, es lograr una síntesis de la información precedente, acumulada durante más de 25 de años de investigaciones geofísicas, que permita la regulación de los patrones de comportamiento en la determinación de las diferentes capas ingeniero geológicas, a partir de dos parámetros geofísicos (velocidad de ondas "P" y resistividad eléctrica aparente) que revelan con gran eficiencia y exactitud el estado natural de los macizos investigados, tratados ambos como un sistema bidimensional, teniendo en cuenta su complementación biunívoca (no siempre justamente apreciada en nuestras investigaciones), lo que implica una disminución significativa de las ambigüedades de un análisis unidireccional.

Este trabajo permitirá la definición estadística de los valores más probables y los rangos de variación de macizos cubanos, fundamentalmente de la región oriental, para profundidades someras (características físico-geológicas muy específicas) que son donde se ejecutan la mayoría de los objetos ingenieriles; de lo cual no existen reportes conocidos en la literatura técnica.

La importancia del trabajo radica en contar con un documento sintético, de fácil acceso -además de contar con ficheros patrones para análisis matemáticos y de clasificación- para dar información a priori en investigaciones ingeniero geológica, sobre las características de las capas que constituyen los macizos en cuestión y las probables litologías que se han de esperar en los primeros estadios de la investigación geofísica. Esta información es de utilidad para el geofísico experto que definirá mejor, a partir de procesamientos matemáticos lo contenido por su experiencia, y orientar a aquel geofísico novel que se inicia en las investigaciones ingeniero geológicas. Es además un hito en el estudio y determinación de las relaciones entre las variables geofísicas y los principales parámetros físico-mecánicos.

### **SUMMARY**

## **DETERMINATION OF TWO DIMENSIONAL GEOPHYSICAL PATRON FILES FOR THE CLASIFICATION OF ENGINEERING GEOLOGICAL LAYERS.**

The motivation to the development of this work is to achieve a synthesis of the precedent information accumulated during more than 25 years of geophysical investigations that it allows the regulation of the behavior patterns in the determination of different geologic layers starting from two geophysical parameters: speed of waves "P" and electrical apparent resistivity that reveal the natural state of investigated rock masses with great efficiency and accuracy, both ones



treated as a two dimensional system taking into account its close complementation (just it's not always appreciated in our investigations) what implies a significant reduction of the ambiguities of a directional analysis.

This work will allow the statistical definition of the most probable values and ranges of variation of Cuban rock masses fundamentally in the eastern region for shallow depths (very specific physic-geologic characteristics), where the majority of engineering objects are executed and about what there's no any wellknown report in the technical literature.

The importance of the works rests in having a synthetic document with easy access giving information a priori in engineering-geologic investigations about the characteristics of the layers which constitute these rock masses and the probable lithologies that must be expected in the first stages of geophysical researches. This information is very useful for the expert geophysicists who will define better starting from statistical and mathematical methods that they have obtained from its experience and it could orient young geophysicists who begin in the geologic engineering investigations. It is also a landmark in the study and determination of relationships between the geophysical variables and the main physical-mechanical parameters.

### **INTRODUCCION:**

Un problema actual en las investigaciones geofísicas aplicadas a la Ingeniería Geológica en nuestro país, con sus particularidades geológicas y climáticas que tanto afectan y modelan los macizos hospederos de las obras de Ingeniería a profundidades generalmente someras, es no contar con un estudio generalizado sobre el comportamiento simultáneo de dos de los parámetros (velocidad de ondas "P" y resistividad eléctrica aparente) que describen con probada efectividad y resolución el estado físico-mecánico de las capas ingeniero geológicas que componen dichos macizos.

Nuestro objetivo estratégico es contar con una plataforma de información que permita la generalización y a la vez la suficiente especificidad sobre el comportamiento de estas variables geofísicas en su descripción de macizos rocosos y su traducción a las variables ingenieriles tradicionales, empleadas en la proyección de objetos de construcción, utilizando todo el bagaje disponible de técnicas de la estadística matemática.

La constitución de una base de datos en un sistema que permita la entrada y salida de información mediante una administración eficiente es una premisa indispensable. Durante la etapa de adquisición de datos a partir de información de archivos, nos dimos cuenta que su estructura no siempre fue la óptima, ello lastra en cierta medida el alcance de los objetivos y nos ha obligado al establecimiento de ajustes en la metodología de obtención de datos, que ya se aplica. No obstante, hay mucha información contenida e infinitas posibilidades de retroalimentación y desarrollo, ante esta magnitud sólo consideramos el presente trabajo como una contribución al método y estudio ingeniero geológico a partir de datos geofísicos de los macizos cubanos.

### **MATERIALES Y MÉTODOS.**

De manera mayoritaria, nuestra institución acomete el estudio ingeniero geológico de los terrenos, con un complejo de métodos, que ajustado en sus variantes para la tarea técnica, se compone de levantamiento ingeniero geológico, trabajos de perforación y toma de muestras de suelos o rocas para su ensayo en laboratorio, y métodos geofísicos (geoeléctricidad en variantes de Sondeo Eléctrico Vertical y Perfilaje Eléctrico; y Sísmica Somera), el cual garantiza generalmente un estudio bastante completo del macizo pues las potencialidades y limitaciones de cada uno de ellos se complementan bastante bien.



Está probada la alta sensibilidad en el registro de los parámetros “resistividad eléctrica aparente  $\rho_a$ ” y “Velocidad de Ondas “P”” para detectar variaciones mínimas del estado físico de los suelos, sin embargo cada uno de ellos, analizados por separado, no están exentos de ambigüedades producidas por la naturaleza física y geométrica de la fuente. Es por ello que el estudio de ambos como un sistema bidimensional potenciaría un conocimiento adicional a la caracterización ingenieril del terreno.

Por ejemplo, es comúnmente aceptado que un incremento en la velocidad de ondas “P” refleja un mejoramiento de las condiciones de los suelos para soportar una carga, sin embargo esto no es así cuando ese incremento está producido por la presencia de agua en los poros, que mas bien implica un deterioro de las condiciones ingenieriles de la capa; sin embargo esta presencia de humedad es muy bien reflejada por cualquier método eléctrico, cuyo valor puede actuar como un efecto reductor en la estimación de las propiedades físico-mecánicas. Además el solo hecho de estudiar el macizo a partir de dos parámetros totalmente independientes multiplica el conocimiento de este, como tal.

En la práctica, aunque el ingeniero geofísico experimentado posee una intuición acerca de los rangos de variación esperados, en relación a la definición de las capas ingeniero geológicas, no tiene bien enmarcadas sus fronteras y el presente trabajo puede contribuir en tal sentido y alcanzarse una clasificación más objetiva de las capas ingeniero geológicas.

En nuestro caso, las clasificaciones no están condicionadas directamente por factores petrográficos sino que se ven influenciadas fuertemente por el efecto de la meteorización y la influencia de otros factores físicos como son la presencia de aguas subterráneas, carsificación, erosión, etc. Es por ello que un mismo tipo petrográfico puede en este particular presentar diferentes rangos de variación de los parámetros e inclusive solaparse con otros tipos petrográficos, que en sus condiciones naturales se diferenciarían visiblemente.

El trabajo parte de la selección de datos de archivos y la constitución de una base de datos con una estructura determinada. que se nutre también con datos contemporáneos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Como resultado final del trabajo se ofrece una tabla con los valores promedios y los rangos de variación mas probables estadísticamente, para las capas ingeniero geológicas más frecuentes en nuestras investigaciones y una representación grafica sectorial de éstas (Gráfico 7). Las mismas pueden ser utilizadas como ficheros patrones bidimensionales para la clasificación, empleando cualquier sistema multivariado.



## TABLA DE VARIACION PROPUESTA

CAPA ING.GEOLOGICA	VELOCIDAD ONDAS "P"(m/s)			RESISTIVIDAD ELECTRICA (ohm.m)		
	Minimo	Media	Máximo	Minimo	Media	Máximo
Areniscas	857	996	1139	7,5	8	8,5
Calizas	2195	2756	3312	185	274	401
Capa vegetal	180	286	392	23	30	55
Gabro	1583	2946	3767	321	582	899
Marga	947	1328	1920	33	57	101
Suelo arenoso	326	477	670	14	24	39
Serpentinita muy alterada	804	1061	1392	38	57	114
Serpentinita alterada	1586	1996	2565	70	100	151
Serpentinita algo conservada	2224	2917	3321	71	94	153
Suelo limoso	358	573	1104	39	77	263
Suelo margoso	610	811	1123	26	39	67
Toba	1006	1273	1626	8,5	11	14,5
Conglomerados	929	1535	2789	24	46	128
Eluvio de gabro	600	806	978	41	46	63
Eluvio de serpentinita	626	843	1022	28	47	89
Relleno	240	321	432	36	65	111
Suelo arcilloso	184	531	1300	22	43	169

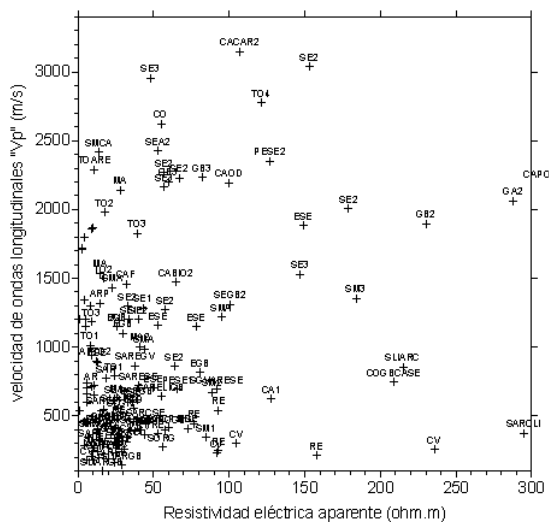
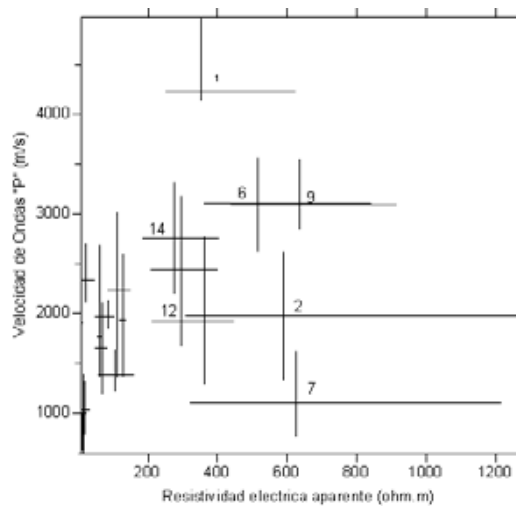


Gráfico de Dispersión de un subconjunto de valores medios de capas

Gráfico 6



Quedan establecidos, luego de un procesamiento estadístico, los rangos de variación de las capas ingeniero geológicas. Aquí se representan sólo algunas de ellas.

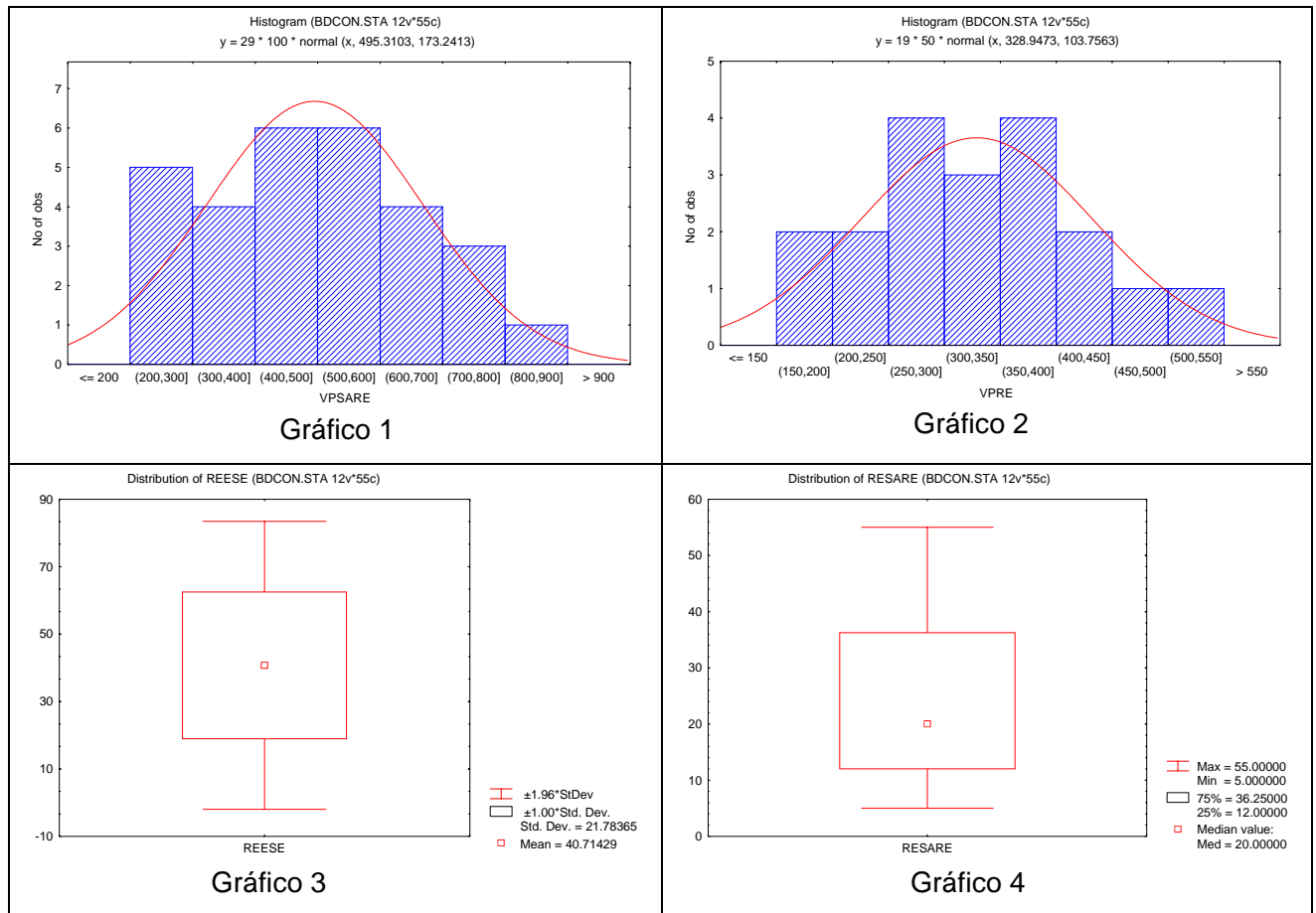
Gráfico 7

Para llegar a ello, se siguió la siguiente secuencia: Adquisición de datos → Conformación de una base de datos potente ACCESS Y EXCELL → Análisis estadístico mediante un sistema especializado (Gráficos 1, 2, 3, y 4) donde se hace un estudio pormenorizado del



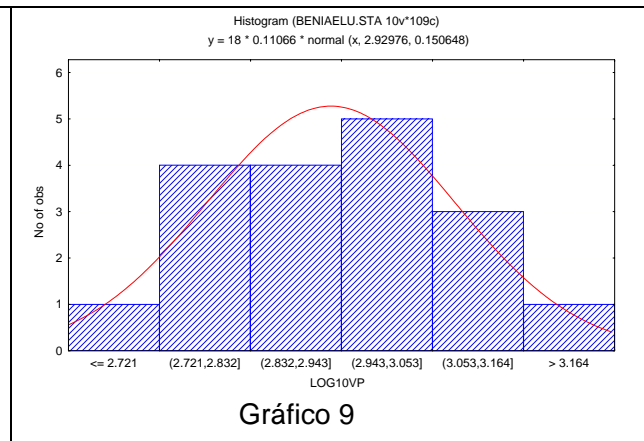
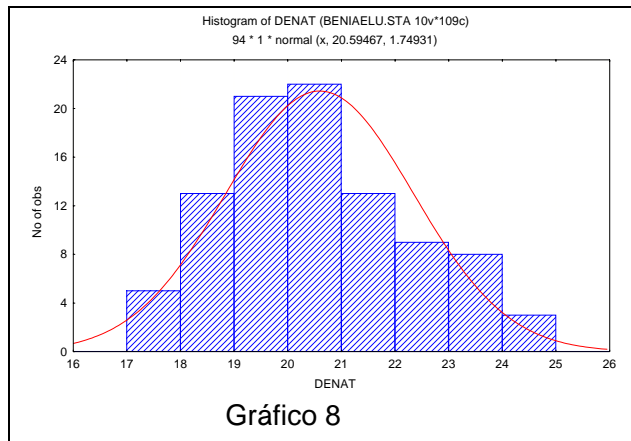


comportamiento de cada variable estableciéndose sus principales parámetros estadísticos. → Estudio de relaciones entre parámetros físico- mecánicos y geofísicos → Establecimiento de ecuaciones de regresión para la estimación de parámetros físico-mecánicos a partir de geofísicos.



Una posibilidad nada despreciable en el diseño de esta plataforma de información, es el establecimiento de relaciones entre parámetros, independientemente de que éstos se encuentren apareados, cuando hay una representación muestral suficiente y nos enmarcamos en los límites de una región o una formación geológica determinada, si se conoce de antemano el sentido de esa relación.

A continuación demostramos, mediante un ejemplo, lo planteado, tomando como base el método propuesto por A. Uvarov, cuando no existe apareamiento puntual entre los datos y en el caso de una relación directa entre parámetros con distribución muestral de tipo normal (DENAT= Densidad Natural, Gráfico 8) y (VP= Velocidad de ondas "P", Gráfico 9), en este último parámetro mediante una transformación logarítmica para aproximarla a distribución normal.



Mediante un algoritmo diseñado al efecto fue posible establecer la siguiente ecuación de regresión **DENAT= 13.5 LOG (VP) – 18.72** relaciones que pueden ser generalizadas con este método.

### CONCLUSIONES:

Se propone la conveniencia y viabilidad del establecimiento generalizado de los rangos de variaciones de dos parámetros geofísicos (velocidad de ondas “P” y resistividad eléctrica aparente) de alta sensibilidad en la descripción ingeniero geológica de las diferentes capas, lo cual tiene un valor altamente orientativo y para técnicas de clasificación.

También se vislumbran las posibilidades de esta secuencia metodológica para el estudio de relaciones entre parámetros físico-mecánicos y geofísicos.

### BIBLIOGRAFIA

- Alfonso José R.** (1989): Estadísticas en las Ciencias Geológicas. ISPJAE, Dpto de Geofísica. C.Habana, Cuba. Edit. ISPJAE. [2]  
**Davis J. C.** (1973): Statistics and data analysis in Geology. Jhon Wiley and Sons. [3]  
**Escartín E., J. Alfonso, W. Rodríguez, P. Lledías y otros.** (1989): Sistema MULVAR Manual de usuario ISPJAE, Dpto Geofísica. C.Habana, Cuba. [4]  
**Statical Graphics Corporation.**(1994): User´s Manual STATGRAPHICS System. [9]



## **UNA APLICACIÓN DEL SIG CARIS: DETERMINACION DEL POTENCIAL DE USO AGRÍCOLA DENTRO DEL REORDENAMIENTO GEOAMBIENTAL**

Ramón Rivada Suárez, Jorge L. Díaz Comesañas, Adelaida Castellanos Silván, Nyls Ponce Seoane y Rey Carral Chao.

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de La Habana, Cuba. Telf. 55 72 32 Fax. e-mail: [rivada@igp.minbas.cu](mailto:rivada@igp.minbas.cu)*

Los sistemas de información geográficos constituyen en la actualidad una poderosa herramienta de trabajo en estudios medio ambientales como: reordenamiento de cuencas hidrográficas, estudios geólogo ambientales territoriales, estudio de procesos amenazantes y cartografía de datos geoespaciales ambientales.

En este caso, el trabajo realizado forma parte de un proyecto que tuvo como finalidad el reordenamiento geoambiental de la cuenca hidrográfica del río Bacuranao, utilizando como herramienta de análisis el sistema de información geográfico CARIS. Uno de los objetivos fundamentales de ese proyecto consistió en la determinación de áreas con potencialidades para desarrollar el uso agrícola del suelo, a partir del análisis en ambiente SIG de un conjunto de variables o factores.

Estos factores o variables incluyeron la profundidad del suelo, la variedad, el contenido de materia orgánica y las pendientes del terreno. Dichos factores a su vez fueron divididos en clases a las cuales se les asignó un peso en dependencia de la importancia, según el criterio de especialistas, que tienen cada una de ellas en el potencial de uso que se analiza.

Esta información fue montada y procesada en el sistema utilizando los diferentes módulos con que éste cuenta, el análisis mediante la superposición de capas de clases permitió obtener un mapa con valores que responden a la suma de los pesos asignados. Este mapa fue reclasificado en cuatro intervalos que se corresponden con las siguientes categorías: áreas muy favorables, áreas favorables, áreas poco favorables y áreas no favorables.

Como resultado final se obtuvo un mapa donde se representa la favorabilidad de las diferentes zonas dentro de la cuenca para el desarrollo de la agricultura, así como un conjunto de informaciones digitales que puede ser ampliadas y actualizadas, para ser usadas en la gestión del territorio estudiado.

## **BASE DE DATOS PARA ESTUDIO DE LAS AGUAS**

Ing. Maria de Jesús Rodríguez Urbino. (1), Ing. Tamira Expósito Pérez. (2)

*(1) INRE. SCG Filial Holguín, (2) Empi Holguín. SCG Filial Holguín*

Durante la realización de los estudios ambientales se generan datos como resultado de los ensayos de las aguas. Nuestra Consultoría Ambiental, comenzó a generar de forma empírica una base de datos con todos estos resultados, la cual fue creada inicialmente en el programa Excel. Posteriormente se crea en el programa Access, de esta forma a través de un formulario sencillo se incrementa y realizan valoraciones con la aplicación de métodos estadísticos, se establecen además correlaciones entre las propiedades físicas y químicas de las aguas analizadas. Esta importante herramienta nos permite determinar por formaciones geológicas las propiedades de las aguas, logrando establecer criterios de semejanza y diferencia entre ellas. Finalmente podemos decir que contar con una base de datos en soporte magnético se consume menos tiempo en el proceso de búsqueda de información y en la etapa de trabajo de gabinete, contribuyendo a la disminución de los costos de los estudios ambientales. Los datos guardados en un archivo protegido están a la disposición del especialista cada vez que lo necesite. Constituye de por sí una importante fuente de consulta.

## **CONGRESO DE LA SOCIEDAD DE GEOLOGIA.**

## REVEGETACION DEL SECTOR COSTERO DE GURDALAVACA

Lic. Asela Sánchez Ricardo, Ing. Tamira Expósito Pérez

(1) INRE. SCG Filial Holguín, (2) Empi Holguín. SCG Filial Holguín

El proyecto de la Revegetación del Sector Costero de Guardalavaca, se ejecutó con el fin de lograr el mejoramiento de la condición ambiental, funcional y paisajística de la playa, para que satisfaga las necesidades y expectativas del turismo internacional, se ejecutó el presente trabajo, para el cual fue necesario:

El levantamiento topográfico del área a escala 1: 500 nos permitió realizar el diagnóstico fitosanitario al detalle. El diagnóstico arrojó afectaciones causadas por agente bióticos causales tales como: *Johnsomya* sp., *Chrysomphalus* sp. *Ctenodactylomya watsoni*, *Eriophyidae*, *Crysomélidos*, *Nasositermes ripperii*.

Hay árboles afectados por agentes abióticos causales no infectivos, que corresponden a factores ambientales altamente desfavorable para el normal desarrollo de una planta, pero no son transmisibles, causando alteraciones morfológicas. Por ejemplo: por déficit de nutrientes, por la erosión en la cara de la playa y por la acción del viento.





## PRONÓSTICO DE DESLIZAMIENTOS CON EL EMPLEO DE SISTEMAS COMPUTARIZADOS

**Ing. Braulio Carreño Aquino<sup>(1)</sup>, Ing. Maritza García López<sup>(1)</sup>, Tec. Noslen Alvelo Zumaquero<sup>(1)</sup>**

(1) Empresa Nacional Investigaciones Aplicadas. Ave Carlos M. de Céspedes y calle 35. Plaza de la Revolución.  
Teléfono 8820857. enialabh@ceniai.inf.cu

### RESUMEN

Se explica el procedimiento seguido en varias regiones montañosa y premontañas del país, donde se han aplicado diecisiete criterios geomorfológicos clásicos para la determinación de los alineamientos, los que a su vez han sido vectorizados con el empleo del software especializados e importados a otro fichero, para seguidamente ser procesados con la utilización del modelo digital del terreno y finalmente realizar el análisis cinemático particular para cada uno de los casos en que dichos alineamientos pueden resultar potencialmente propensos a comportarse como fallas estructurales. En virtud del desarrollo de este procedimiento se confeccionan el mapa del Modelo Digital del Relieve con las Probables Estructuras Tectónicas y el Esquema de Zonificación de Probables Movimientos de Masas (deslizamientos). A manera de ejemplo, en este trabajo se muestra una obra de gran importancia económica, que ha sido fundada en un territorio montañoso y que muestra claramente su vulnerabilidad desde el punto de vista geológico, evidenciándose que tal vulnerabilidad se pudo haber reducido de manera ostensible si antes se hubiesen explicado estos criterios.

### ABSTRACT

A procedure is presented for determining the position of the tectonic joints using 17 different geomorphologic criteria. Those joints are then converted to vectors and imported in to software for processing together with a Digital Terrain Model. The objective is to establish the cinematic behavior of each joint as structural fault or not.

Based on that procedure a Digital Elevation Map, a Tectonic Map, a Probable Landslide Map are created. An example of a case study is presented in which a new construction with high economic importance was built in an area with high landslide risk without applying the above mentioned procedure.

### INTRODUCCIÓN.

La zona de estudio, que para la realización de este trabajo se ha escogido, pertenece a una región con elevaciones de alturas medias a bajas de la parte central del país y se localiza en la Llanura de Júcaro a Morón, donde predomina la llanura plana (0-200 m).

### BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

En la constitución geológica de la zona de estudio aparecen 4 formaciones que son: Fm Güines, Fm Jaimanitas, Fm Punta Alegre y Fm Camacho. Las tres primeras en su conjunto se componen de calizas fosilíferas, en general masivas, con carso bien desarrollado, tanto superficial como hipogénico presentando además intercalaciones de margas, brechas de yeso con clastos de caliza, limolitas, areniscas y tufitas. Las formaciones hasta aquí descritas, en la mayor parte del territorio, se encuentran cubiertas por arcillas, arenas, arenas arcillosas y depósitos no consolidados de la Formación Camacho.



## SISMICIDAD DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

Según la división propuesta en la norma cubana (NC. 46 99), concerniente a las acciones sísmicas, la zona de interés se sitúa dentro de la "Zona 1", relacionado con el grado de intensidad sísmica, para la cual se plantea lo siguiente:

Esta zona se corresponde con intensidades de grado VI en la escala MKS-64 y la referida norma establece que el cálculo sismorresistente en estos casos, es de aplicación potestativa.

Las zonas sismogeneradoras que ejercen mayor influencia en la región son las que se mencionan continuación:

- Sutura Central, Norte Cubana 2, Norte Cubana 3, Sur Cubana, La Trocha, Cienfuegos-Sta Clara, Norte Escambray, Trinidad, Camagüey, Cubita, Santa Cruz, Hicacos y Cochinos.

Otros eventos sísmicos significativos fueron los de Trinidad (1943) y **Morón (1953)**, que produjeron sacudidas de intensidad VI MSK en dichas localidades.

Aún cuando en la norma cubana y como ya se ha dicho, a esta zona le corresponde intensidades de grado VI, se puede apreciar que la misma puede ser afectada por eventos con intensidades mayores e incluso también por otros generados en zonas sismogénicas distantes y capaces de producir eventos fuertes.

## IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS.

### Peligros de Manifestación Progresiva.

**Movimientos de masas:** Se refiere a la caída de bloques pequeños y de tamaños considerables, sobre todo en los macizos rocosos elevados y a los deslizamientos de tierra.

La caída de bloques rocosos que se producen en el área son los siguientes:

- Caída de piedras en un talúd rocoso escarpado (Stone Fall)
- Caída de rocas (Rock Fall)
- Caída libre combinada con traslación en la primera fase (Free Fall)

También dentro de la clasificación internacional de los movimientos de masas se encuentran los **deslizamientos de tierra**, que no son otra cosa que movimientos de las masas coherentes del talúd a lo largo de una o más superficies de corte bien definida.

Las condiciones geológicas e ingeniero – geológicas muestran en el área de interés la existencia de planos de discontinuidad principales en la yacencia de las formaciones tratadas y en la estratificación bien definida entre sus capas de margas y calizas agrietadas, lo que evidentemente aumenta el número de discontinuidades del macizo, sumándole a ello la existencia de un complicado patrón de estructuras tectónicas.(ver figura 1, Modelo Digital del Relieve con Probables Estructuras Tectónicas en Anexos Gráficos) Si tenemos en cuenta las direcciones y ángulos de buzamiento de todo el sistema de discontinuidades, los que resultan críticos, cuando estos buzando hacia los cortes y taludes tanto naturales como artificiales, podemos establecer que se propicia la aparición de peligros por deslizamiento.(ver figura 2, Esquema de Zonificación de Probables Movimientos de Masas en Anexos Gráficos).



Todo lo anterior condiciona el tipo de superficie de deslizamiento presentes, las que pueden ser de dos tipos:

Deslizamiento a lo largo de una superficie plana la cual puede ser un límite litológico o tectónico (sistemas de fallas), formada además por los planos de estratificación y por las direcciones y ángulos de buzamientos predominantes en éstas y en los sistemas de grietas. Como ejemplo grafico de lo anterior se ilustra la figura siguiente:

Corrimiento a lo largo de una superficie deslizamiento combinada: Surgen cuando se presentan las condiciones planteadas en el punto anterior y pueden tener varias formas. La ilustración siguiente muestra la combinación de dos superficies; cilíndricas y planas:

Estos corrimientos también ocurren con frecuencia en los sedimentos arcillosos, margosos o calcáreos horizontalmente estratificados.

#### **Otros peligros de manifestación progresiva identificados:**

*Flujo turbulento de primer orden de aguas por grietas y cavernas*

*Presencia del carso profundo*

*Agrietamiento por el Intemperismo*

*Estratificación de las capas*

*Hundimientos del terreno*

*Erosión Laminar de los Taludes*

#### **Peligros de Manifestación Súbita.**

Constituyen peligros de este tipo la **ocurrencia de sismos** hasta de grado V, en la escala MSK, pudiendo llegar a ser de magnitudes mayores, cuando se hayan producido en zonas sismogeneradoras distantes, los cuales podrían provocar de manera impredecible deslizamientos de tierras, caídas de bloques y hundimientos del terreno.

Los peligros de Manifestación Progresiva, tratados con anterioridad, tales como los *hundimientos del terreno* y los *movimientos de masas*, podrían expresarse como de Manifestación Súbita ante la ocurrencia de sismos de grado IV, V y VI en la escala MSK (y mayores cuando se han producido en zonas sismogeneradoras distantes), los cuales podrían manifestarse de manera impredecible. Es de señalar que los peligros antes mencionados no solo pueden ocasionarse por la ocurrencia de eventos sísmicos, sino que también pueden producirse al combinarse aspectos puramente gravitatorios, con el estado tensional real del macizo después de este haber sido cargado, máxime aún si se tiene en cuenta el grado de facturación que el mismo presenta.

#### **CONCLUSIONES.**

En virtud de lo antes expuesto concluimos lo siguiente:

Desde el punto de vista geológico e ingeniero – geológico, los peligros de manifestación progresiva son los que más abundan, pero ante las sacudidas del terreno, por la ocurrencia de eventos sísmicos, pueden pasar en muchos casos, a ser peligros de manifestación súbita.

Los peligros de movimientos de masas y hundimientos del terreno pueden causar la rotura o destrucción parcial o total de los objetos de obra que sobre el macizo se edifiquen.



## RECOMENDACIONES.

En la ejecución de las cimentaciones para cualquier tipo de obra en la zona estudiada, es necesario tener en cuenta las acciones sísmicas, aún cuando los eventos reportados en el territorio son de intensidad máxima igual a VI grados MSK y menores, pues no se puede descartar la posibilidad de que el territorio pueda ser afectado por terremotos de mayores intensidades producidas en zonas sismogeneradoras distantes.

### Anexos Gráficos

Figura 1. Modelo Digital del Relieve con Probables Estructuras Tectónicas

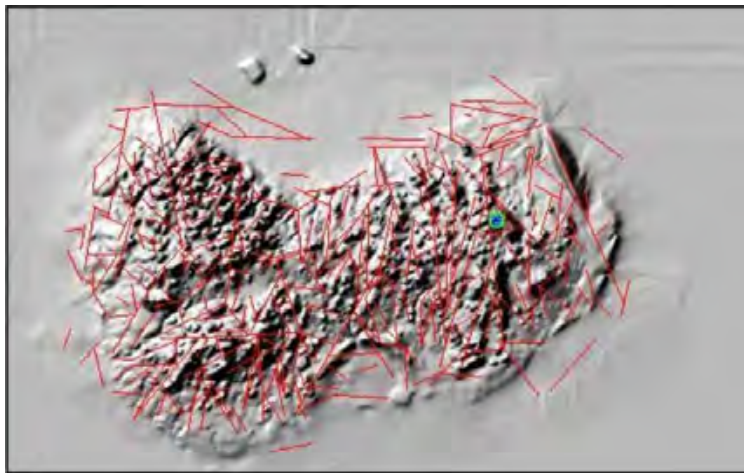
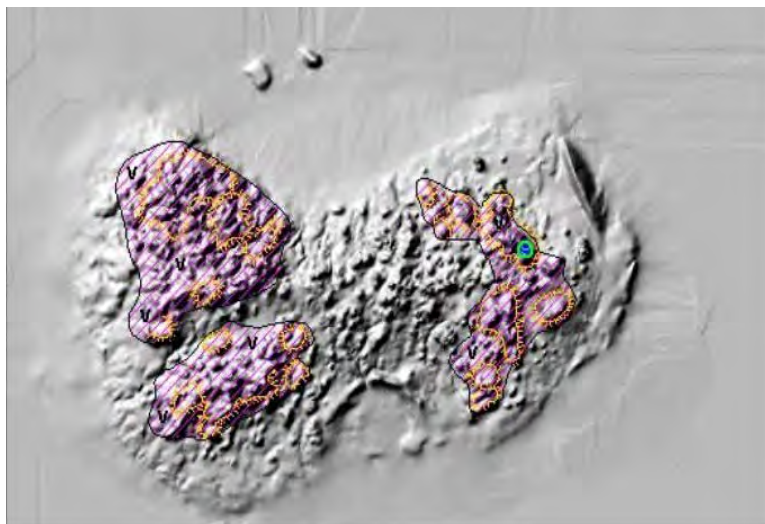


Figura 2. Esquema de Zonificación de Probables Movimientos de Masas







## COMPENDIO DE LAS OCURRENCIAS MINERALES DEL TERRITORIO CIEGO - CAMAGÜEY - LAS TUNAS SOPORTADO EN UN SIG.

**Maribel Padrón Martín<sup>(1)</sup>, Victoria González Pacheco<sup>(2)</sup>, Marcelo Martínez Martínez<sup>(3)</sup>.**

(1), (2), (3) Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este Km. 51/2, CP 70600, Camagüey, Cuba

### RESUMEN

Este trabajo se proyectó en función de la información obtenida que existe de las diferentes materias primas metálicas y no metálicas durante más de dos décadas y localizadas en los archivos EGMC, ONRM de Camagüey y ONRM de La Habana, se empleó la tecnología informática disponible. El mismo tiene como objetivo resumir y sintetizar las ocurrencias minerales de las provincias Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas. Para la preparación del mismo se utilizó el mapa geológico 1:250 000, mapa Político-Administrativo escala 1:250 000, así como los informes y catálogos geológicos de las diferentes materias primas y el Balance Nacional de Recursos actualizado hasta Diciembre del 2003 se utilizó para la realización de las fichas, además se empleó la información de las bases de datos. Para lograr los objetivos planteados se emplearon los siguientes métodos:

1. Recopilación, valoración y análisis de la información a introducir a la BD.
2. Diseño de la BD acorde a la información con que se cuenta y a los objetivos que se persiguen con la misma.
3. Introducción de los datos a la BD.
4. Incorporación y procesamiento de la información en el SIG

Como resultado se obtendría:

1. Base de Datos de Ocurrencias Minerales de los territorios Ciego de Ávila - Camagüey - Las Tunas.
2. Representación gráfica de las ocurrencias en un SIG
3. Se obtuvo como resultado un compendio con la información gráfica y textual que satisfaga de forma inmediata las necesidades del cliente.

### ABSTRACT

This work was projected in function of the information that exists of the different metallic and not metallic raw materials achieved during more than two decades located in the offices of EGMC, Camagüey and Havana ONRM and it was, use the available computer technology. It's objective to summarize and to synthesize the mineral occurrences in the Ciego, Camagüey and the Tunas provinces. For the preparation of this work was used the geologic map 1:250 000, the Political-administrative map escalate 1:250 000, as well as the reports and geologic catalogs of the different raw materials; and the National Balance of Resources upgraded until December of the 2003, was used for the realization of the records, the information of the databases was also used. To achieve the outlined objectives the following methods they were used:

1. Compilation, valuation and analysis of the information to introduce in the DB.
2. The DB design according with information that we count, and the pursued objectives.
3. Introduction of the data to the DB.
4. Incorporates and processing of the information in the GIS

As a result it would be obtained:

1. Database of Mineral Occurrences of Ciego, Camagüey and The Tunas provinces.
2. Representation of these occurrences in a GIS (MapInfo).
3. Summary with the graphic and textual information that satisfied in an immediately way the requests of the costumers





## INTRODUCCIÓN

La aparición de la tecnología informática ha incidido de forma trascendental en el manejo, almacenamiento, explotación e integración de la información geológica y minera, potenciando no solamente la ordenación y acceso a la misma, sino dotando a los Servicios Geológicos de nuevas y potentes herramientas de análisis que permiten agilizar las tomas de decisiones, a la vez que facilitan la elaboración de nuevos productos en función de la demanda social (Universidad, ENIA, Recursos Hidráulicos, San Felipe MINING, grandes industrias (Fábrica de cerveza, Planta Mecánica, Fábrica de cerámica, Fábrica de Cemento), Empresas Agropecuarias y otras. De ahí la importancia de tener en formato digital las fichas de todas las ocurrencias para un mejor manejo de la información disponible a la hora de ser utilizada por nuestros especialistas, una negociación o un servicio.

Este trabajo tiene como objetivo resumir las Ocurrencias Minerales de las provincias Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas en una Base de Datos y soportar esta información en un Sistema de Información Geográfico (SIG), con vistas a tener una potente herramienta de análisis que permita la toma de decisiones ante un cliente o usuario, brindando un servicio de una manera más dinámica, atractiva y segura.

Una vez que la información se encuentre en un SIG, esto permitirá brindarle al cliente, todo lo relacionado con los datos generales y particulares de las ocurrencias (yacimientos, prospectos o manifestaciones) tales como:

1. Características generales de las Ocurrencias Minerales
2. Grado de estudio
3. Característica geológica \_ económica
4. Recursos
5. Usos de las materias primas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se utilizaron los informes geológicos, fichas, catálogos y bases de datos de las diferentes materias primas metálicas y no metálicas y el Balance Nacional de Recursos actualizado hasta Diciembre del 2003, lo que permitió realizar las fichas de las ocurrencias, se empleó el mapa geológico 1:250 000 y el mapa Político - Administrativo 1:250 000, para la parte gráfica del trabajo, MapInfo (SIG), Microsoft Access 2000.

Para lograr los objetivos planteados se emplearon los siguientes métodos de trabajo:

1. Recopilación, valoración y análisis de la información a introducir a la BD.
2. Diseño de la BD acorde a la información con que se cuenta y a los objetivos que se persiguen con la misma
3. Introducción de los datos a la BD.
4. Se incorpora y procesa la información en el SIG obteniendo como resultado un compendio con la información gráfica y textual que satisfaga de forma inmediata las necesidades del cliente.

## RESULTADOS

Principales resultados:



1. Se obtuvo una base de datos que permitió la conservación en sistemas altamente confiables de los resultados obtenidos del Compendio de las Ocurrencias Minerales de los territorios Ciego de Ávila - Camagüey - Las Tunas.
2. Representación de estas ocurrencias en un SIG (MapInfo).

## DISCUSIÓN

Se localizaron todas las fichas técnicas de materias primas metálicas y no metálicas, así como los informes de las diferentes ocurrencias minerales ubicadas en el territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas, y conservadas en el archivo de la EGMC, ONRM de Camagüey y la ONRM de La Habana, se hizo una valoración de la información para lograr una uniformidad en los datos a utilizar e introducir con posterioridad a la BD. Se procesó un total de 872 ocurrencias de ellas 533 (25 yacimientos, 65 prospectos, 433 manifestaciones) de la materia prima metálica y 339 (81 yacimientos, 52 prospectos, 206 manifestaciones) de la materia prima no metálica.

Una vez validada la información a introducir en la BD se procedió a la creación de las tablas, codificando todos aquellos campos que fue posible, pasando posteriormente al establecimiento de las relaciones entre tablas y finalmente al diseño de los formularios que permitirían la incorporación de la información de manera más dinámica y con un mínimo de posibilidades de errores. El diseño fue concebido de manera que se pueden incorporar nuevos datos sin dificultades y sin provocar cambios en la estructura de la base, además toda la información fue codificada con el objetivo de lograr la máxima simplificación de la misma, garantizando el aprovechamiento óptimo del espacio utilizado.

La base de datos consta de 14 tablas principales y 38 auxiliares. Además con 10 formularios principales y 19 auxiliares. A continuación se exponen las imágenes de los diferentes formularios con la que consta la base de datos.

**BASE DE DATOS DE LAS OCURRENCIAS MINERALES DE LOS TERRITORIOS CIEGO DE AVILA - CAMAGÜEY - LAS TUNAS**

**MATERIA PRIMA NO METÁLICA**

**MATERIA PRIMA METÁLICA**

**USO DE LAS MATERIAS PRIMAS**

**DATOS AUXILIARES**

**AUTORES:**

Ing. Maribel Padrón Martín

Ing. Victoria González Pacheco

Ing. Marcelo Martínez Martínez

Fig. 1 Formulario inicial da la entrada a los diferentes formularios.



Los formularios Frm\_Ocurrencias\_Minerales Metálica y Frm\_Ocurrencias\_Minerales Metálica, son los principales para la entrada de datos, ya que muestran la información general de cada ocurrencia, y sirven de enlace con los demás formularios.

Fig. 2 Datos generales de las ocurrencias minerales no metálicas.

A continuación se muestran las ventanas de cada uno de los formularios que componen el formulario de los datos generales:

Fig. 3 Fig. 2 Grado de estudio.



Caracterización de la Mena

Propiedades Físico-Mecánicas Composición Mineralógica Composición Cationica  
Composición Química Composición Elemental

Acta	Contenido	UM	Ca++	Mg++	Mn++	K++	Total
Para las pruebas probadas (B)	Medio	mg/100g	42.47	25.70	3.44	1.16	88.83
Para las pruebas probadas (B)	Máximo	mg/100g	68.80	49.82	9.26	2.92	139.15
Para las pruebas probadas (B)	Mínimo	mg/100g	12.81	2.06	0.19	0.10	50.80
Para todo el yacimiento	Medio	mg/100g	44.52	21.63	3.56	1.06	84.84

Registro: 1 de 1

Fig.4 Caracterización de la MENA

Caracterización Geólogo-Tecnológica

Tipo Genético: Diagenética

Formación: Cruceiro Contamaestre

Tipo de Yacimiento: Mediano del Tipo II

Datos Investigación Anterior:

Tectónica:

Forma, Tamaño y Yacencia:

Rocas Encajantes: Tobas, tufitas, calizas y areniscas

Parametros de Calidad:

Tipo Petrográfico útil:

Tipo Morfología de los cuerpos: Elevaciones con cotas del relieve que fluctuan entre 40-100m

Dimensiones de los cuerpos: Largo aproximadamente unos 850m y ancho entre 180-270m.

Elementos de yacencia de los cuerpos: 310-330° - 15 a 25°

Observaciones:

Registro: 1 de 1

Fig. 5 Caracterización geólogo-tecnológica



1 Generales 2 Grado de Estudio 3 Caracterización de la Mena 4 Caracterización Geologo\_Tecnológica 5 Datos Técnicos de Explotación 6 Balance de Recursos

### Datos técnicos de explotación

Tipo de Minería	A Cielo Abierto	Entidad que Explora	EGMC
Facilidades		Equipamiento minero	
Vías de Acceso	Buena	Característica de la instalación industrial	
Existencia de Mano de Obra	Escasa	Entidad que explota	
Electricidad	Buena	Estudios tecnológicos	A escala industrial
Suministro de agua	Bueno	Estudios de factibilidad	No existe
Edificaciones		Estudios hidrogeológicos	Detallados
Volumen de Producción		Instalaciones para el beneficio	Existe una planta procesadora del mineral (molienda, clasificación, secado y envase)
Surtido			

Registro: 1 de 1

Fig. 6 Datos técnicos de explotación

3 Caracterización de la Mena 4 Caracterización Geologo\_Tecnológica 5 Datos Técnicos de Explotación 6 Balance de Recursos

### BALANCE NACIONAL DE LOS RECURSOS

Unidad de Medida

Estado\_Recursos

Recurso

Recurso Identificado

Recurso No Identificado

Volumenes de los Recursos

Volumen Total de los Recursos

Tipo de Reserva

Volumenes de las Reservas

Reserva Extraída

Fecha de Actualización de los Recursos

### RECURSOS SEGUN EL INFORME

Unidad de Medida

Miles de toneladas

Area

Para todo el yacimiento

Volumen Total de los Recursos:

11858.6

Estado de los Recursos

Recurso calculado

Tipo de Reservas

Recurso

Identificado

Volumen de las Reservas

Recursos Identificados

Medidos

Recurso Extraído

87.8

Recursos No Identificados

Fecha de Actualización

23/02/1994

Volumen de los Recursos

2346.2

Registro: 1 de 3

Fig. 7 Balance de los recursos

Luego de tener la información en la base de datos, se procedió a la utilización del MapInfo (SIG) en éste se realizaron varias consultas donde aparecen las ocurrencias minerales con sus coordenadas, localización, uso de la materia prima, caracterización de la mena, balance de los recursos, datos técnicos de explotación y la caracterización geólogo-tecnológica; con el cual el cliente y los especialistas tendrían la posibilidad de obtener de cada una de las ocurrencias una información detallada y completa de la geología y de los aspectos anteriormente mencionados, entre otros.



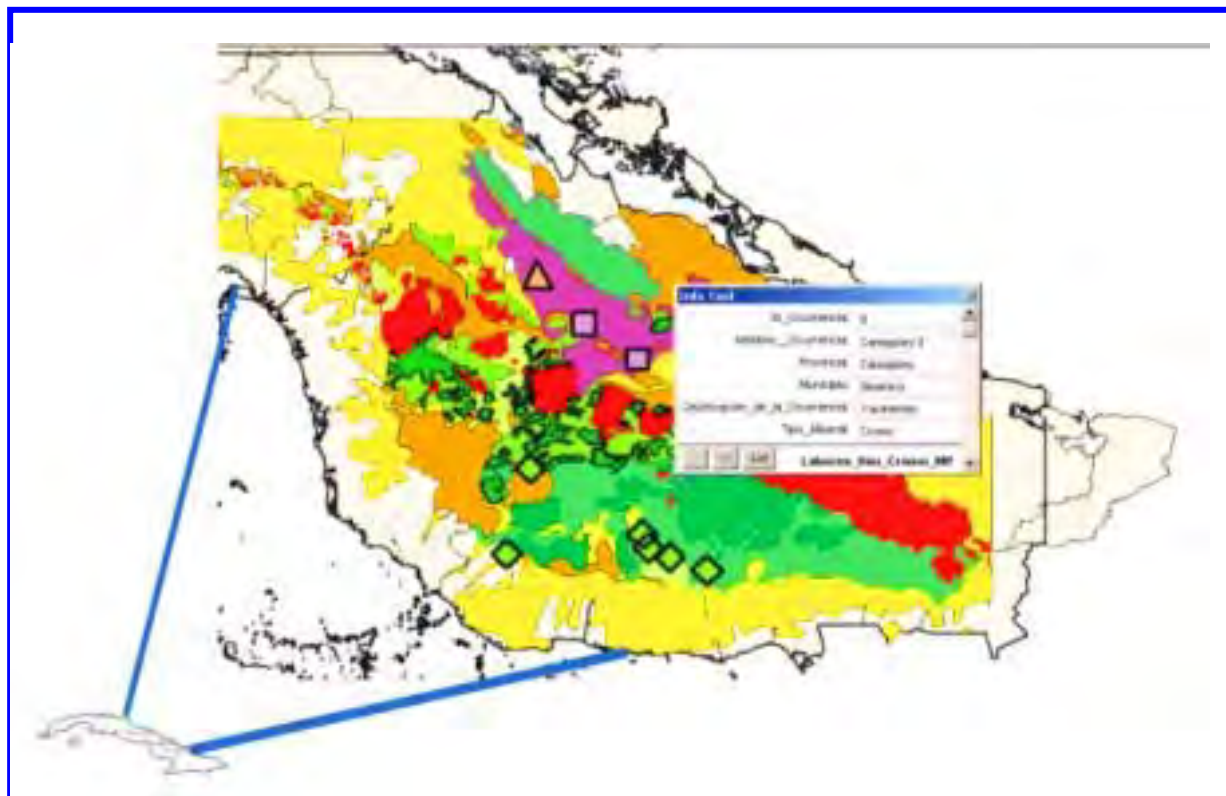


Fig.8 Compendio de las ocurrencias minerales de las provincias Ciego-Camagüey-Las Tunas

## CONCLUSIONES

1. Con el presente trabajo la EGMCM estará capacitada para interesar a clientes y usuarios en su asimilación y ofrecer a los mismos nuevos servicios y productos desarrollados en función de la demanda de las diferentes materias primas (BD, mapas, etc.) y no solamente productos sistematizados y predefinidos de acuerdo a las grandes líneas estratégicas de la actividad, sino a las definidas por el usuario (Universidad, ENIA, Recursos Hidráulicos), compañías extranjeras, grandes industrias, empresas agropecuarias y otras, lo que permite una manipulación, procesamiento, consulta de la información y mapas de una forma dinámica.
2. Con la realización del trabajo se logra una reducción de costos de la gestión, pues con la información digitalizada se reducirían los gastos asociados a las actividades de recopilación, envío, recepción, procesamiento, verificación y presentación de la información; además de incrementar el valor de la información de las materias primas en las negociaciones.
3. La información contenida en los informes dejaría de ser un ente pasivo pues serían fácilmente procesables y modificables, de fácil reproducción y se podría enviar con facilidad ocupando poco espacio (disquetes, Internet, CD, etc.)

## BIBLIOGRAFÍA

Martínez, M. 1994. Fichas Técnicas No Metálicas de Ciego – Camagüey – Las Tunas. Archivo EGM Camagüey. 1-90.





- Cabrera, R., A. garcía, J. Díaz, 1981. Resultados de las investigaciones del Levantamiento Geológico a escala 1:250 000, Tomo II. Academia de Ciencias de Cuba y Bulgaria. 1-126.
- Padrón, M, E. Mishekurina, R. Sánchez. 2003. Base de datos de la Compilación de la información geológica de las asociaciones de las provincias Ciego-Camagüey-Las Tunas. Archivo EGM Camagüey.
- Escalona, N., E. Mishekurina, O. Pereda, 2004. Base de Datos No Metálicos Camagüey. Archivo EGM Camagüey.
- ONRM, 2003. Balance Nacional de Reservas Minerales. Ciudad de la Habana. 1-28.
- Piñero, E. 2004 Mapa Geológico de las provincias Ciego-Camagüey-Las Tunas. Archivo EGM Camagüey.



## **GEOINFO EL MAYOR BANCO DE DATOS DE GEOLOGIA EN MEXICO**

Ing. Héctor A. Alba Infante

### **CONSEJO DE RECURSOS MINERALES**

Con más de 50 años de actividad enfocada al estudio geológico - minero del territorio nacional, el COREMI es el más importante centro de ciencias de la tierra en México y es el principal proveedor de información científica y de soluciones relacionadas a factores geológicos, genera y concentra información a través de trabajos que se realizan mediante programas sistemáticos de cartografía geológica, geofísica y geoquímica.

El CRM incorpora a su base de datos Geo Info esta información utilizando nomenclaturas, simbologías, colores y formatos que se utilizan dentro de un estándar internacional, tratando de mantener un enlace entre los diferentes temas y sobre todo, que puedan interactuar unos con otros, ajustándose a los requerimientos y demandas actuales.

La base de datos del CRM se construyó utilizando los datos obtenidos de campo, publicaciones y resultados de laboratorio, que fueron procesados con herramientas que les permitieron integrarlos a las tablas de atributos de manera detallada, manteniéndose permanentemente en actualización.

Su principal objetivo es poner a disposición de cualquier usuario interesado toda la información en línea, de una manera oportuna, versátil, y fácilmente manejable en un sistema abierto ("Open GIS") sin restricciones de formato, vía Internet .

En la dirección [www.coremisgm.gob.mx](http://www.coremisgm.gob.mx), se encuentran diferentes temas en las especialidades de: geología minera, geoquímica, geofísica, archivo técnico y estadísticas de producción, entre otros., proporcionando la ayuda requerida en la búsqueda y prospección de nuevos yacimientos minerales, con el beneficio que representa el ahorro en tiempo y de recursos.

Su información se encuentra dirigida no solo a la industria minera, ha sido adaptada para otros servicios como es la educación, investigación y aplicación directa a todas las actividades de importancia en el conocimiento y desarrollo de la exploración, cuantificación de recursos, prevención y riesgos.

Geo Info organiza su información para prever las necesidades de consulta y difusión, con el objeto de cubrir las necesidades actuales y futuras del país en el rubro de geología minera y temas afines, "Geo Info", es el responsable de salvaguardar la información dentro de un manejador de datos, confiable, vigoroso y suficientemente versátil para compartir, consultar, difundir y comercializar la información del CoReMi.

Conformar el mayor banco de datos de ciencias de la Tierra de México, entrando al entorno globalizado con paso firme y decidido es ahora el reto del Consejo de Recursos Minerales.



## **EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADO A LA ECONOMÍA.**

Ivonne Castellanos Rosales y Maritza Blanco Tamayo

*Empresa Provincial de Comercio, Gastronomía y Servicios de Granma. E-mail:  
servicios@grm.alimatic.cu*

Este trabajo tiene como objetivo aplicar el Sistema de Información Geográfica a la economía, en las 15 unidades básicas de la provincia, utilizando algunos de sus principales indicadores, facilitando de esta forma una búsqueda rápida, eficiente y con la calidad requerida. Los ejecutivos de una entidad, por necesidad deben enjuiciar las causas y los efectos de la gestión de la empresa, punto de partida para tomar numerosas decisiones en el proceso de administrar las informaciones de la empresa, de manera que puedan conocer las tendencias de comportamiento en el futuro y poder predecir su situación económica y financiera. La contabilidad tiene la misión de suministrar datos a la dirección de la empresa para poder realizar el proceso de planeación, administración y gestión. Se confeccionaron 17 Bases de Datos en Microsoft Excel, distribuidas de la siguiente forma: Base de datos de ingresos, costo de venta, impuestos, ganancia o pérdida, gastos, gastos de administración, gastos de salario, gasto de energía, gastos de materias primas, gastos de materiales auxiliares, gastos de seguridad social, gastos de amortización, entre otras, donde se agrupan los principales indicadores económicos de la empresa y permite una interrelación entre ellas. En las mismas intervienen 325 campos, de ellos 238 campos son numéricos, permitiendo la realización de varias consultas y cálculos estadísticos, utilizando el programa de computación MapInfo. Con esta forma de automatización queda demostrada la alta productividad para efectuar diferentes consultas utilizando las tecnologías modernas de acuerdo al desarrollo actual que requiere el país, demostrando que puede ser aplicado a esta rama de la sociedad.



## LAS PLATAFORMAS CARBONATADAS DEL ESTRECHO DE LA FLORIDA

Mateu Esteban (1), Pujianto Lukito (2), Cristina Solla (2) y SusanaTorrescusa (2)

(1): Carbonates International S.L., Mallorca; (2): REPSOL-YPF, Madrid

Desde el Neocomiense al Neógeno, los márgenes de las plataformas carbonatadas presentan una gran complejidad de geometrías y facies bordeando el Estrecho de La Florida. Esta complejidad se refleja en varios cortes E-W y N-S y sus características se resumen en las siguientes etapas evolutivas:

Plataforma del Cretácico Inferior (Neocomiense-Aptiense), con desarrollo de rampas monoclinales en los márgenes sur-central. En los márgenes E y W se hallan plataformas con reborde a base de montículos acrecionales marginales, probablemente modificados por retoques erosivos posteriores. .

Plataforma del Cretácico Medio (Albo-Cenomanense) con montículos acrecionales en los márgenes que se integran en plataformas someras en continuidad (keep-up) con las del Cretácico Inferior. En la zona Sur se aprecia el desarrollo de un amplio golfo con una gran variedad morfológica. Se reconocen montículos de aguas más profundas en rampas distalmente acentuadas. Lateralmente (al N, E y W), estos montículos profundos evolucionan a estructuras más someras caracterizadas por techos aplanados (catch-up con el nivel del mar), incluyendo plataformas aisladas tipo Bahamas. Estas plataformas están separadas por facies de canal profundo (sea-way o cuenca intra-shelf) que se rellenan por depósitos hemipelágicos. En contraste, los taludes externos son hambrientos (starved), acuñándose rápidamente hacia la cuenca. En los márgenes E y W se reconoce el apilamiento vertical en aguas someras sin el desarrollo de facies de sea-way. Un importante retoque erosivo posterior se considera probable en el margen occidental. La dolomitización se espera que disminuya hacia las partes altas de la secuencia. Las facies micríticas dominarán en la mayoría de los montículos, con desarrollo local de facies granudas y bioclásticas.

Ahogamiento (drowning) de la plataforma del Cretácico Medio y retroceso (backstepping) del margen de plataforma somera del Cretácico Superior hacia el N, cerca de los Cayos de Florida. Ello produce una extensa plataforma externa (shelf) encima del Cretácico Medio, con depósitos de cretas de plataforma y pequeños desarrollos de montículos bioclásticos y microbiales. El espesor de la serie en el shelf es muy reducido por condensación y por causa de fuerte erosión submarina posterior; por las mismas razones se explica su aparente ausencia en los taludes externos hacia la cuenca. La plataforma somera del Cretácico Superior presenta un desarrollo vertical 4 veces inferior a la del Cretácico Medio e Inferior. Los montículos del shelf del Cretácico Superior en los márgenes E y W pueden tener tendencia a la somerización y keep-up con los del Cretácico Medio. Estos montículos bioclásticos y microbiales presentan porosidades muy elevadas, con dolomitización decreciente hacia arriba.

Complejo de plataformas progradantes del Paleógeno, que se inicia con un pequeño retroceso (backstepping) en relación con el margen de la plataforma somera del Cretácico Superior. Las plataformas someras paleógenas presentan márgenes con rebordes bien definidos por facies de montículos progradantes, delimitando unas lagunas someras bien estratificadas. El shelf (plataforma externa) paleógeno se caracteriza por cretas de shelf en continuidad con las del Cretácico Superior, pero con grandes y complejos cuerpos lenticulares, con formas de canales y montículos, interpretados como contornitas o acumulaciones de deriva (mounded drifts). Estos cuerpos contorníticos remontan el shelf paleógeno hacia el N y el W, pudiéndose confundir con montículos arrecifales. Hay importantes evidencias de intensa erosión submarina y resedimentación de extensas secuencias del Cretácico Superior y Paleoceno, probablemente en relación con la flexuración provocada por la faja plegada.

Complejo progradante de las plataformas someras del Neógeno, con un pequeño retroceso con respecto al margen de las plataformas paleógenas.

Los montículos y márgenes cretácicos ofrecen un gran potencial exploratorio, con porosidades intergranulares importantes (particularmente en el Cretácico Superior y Medio), ampliadas por



diferentes fases de dolomitización y disolución. Los cuerpos monticulares contorníticos del Paleógeno se configuran como objetivo secundario, particularmente en las cretas conglomeráticas.





## **VISIÓN ACTUALIZADA DE LOS MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES DE CUBA**

**Donis Pablo Coutín Correa y Amelia Digna Brito Rojas (Jubilados)**

*E-mail: delame@infomed.sld.cu*

*Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica, Vía Blanca entre Línea del Ferrocarril y Ampliación de Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, ZIP 11000*

### **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es ofrecer una panorámica actualizada de las perspectivas actuales de los MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES existentes en Cuba.

Se presenta una clasificación para los MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES que toma en cuenta los fines industriales de la materia prima, de fácil comprensión por los usuarios de diferentes industrias. Se mencionan los principales depósitos con que cuenta el país.

Se ofrecen sugerencias para agilizar la recuperación de la rama geólogo-minera, siendo la principal valorar la necesidad de ampliar la utilización de los MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES, desarrollando la pequeña minería o minería artesanal hasta nivel de municipio. Con este fin se hace necesario flexibilizar los conceptos acerca de la cantidad y calidad de las reservas requeridas para esta actividad y adecuar el control de la extracción y la restauración de las afectaciones medioambientales.

Diversas son las materias primas de extracción y procesamiento poco complejos y que tienen amplia demanda por la población. Entre ellas tienen perspectivas inmediatas para su extracción y comercialización por la pequeña minería artesanal: arenas, reseo, cantos y losas naturales para construcción, arcillas rojas y caoliníticas para cerámica utilitaria y decorativa, ocre para pigmentos, piedras semipreciosas para joyería y artesanía, arena silíceas para cemento-cola y refractarios, fangos medicinales, etc.

Si se logró llevar la Universidad a los municipios, también se puede llevar la actividad geólogo-minera artesanal a esa instancia, aplicándola a los minerales y rocas mencionados, para facilitar su adquisición por la población local lo que elevará su nivel y calidad de vida.

### **ABSTRACT**

The purpose of this presentation is to offer an updated panoramic of the current perspectives of Cuban INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS.

A new classification of easy understanding for users, that takes into account the final destination of raw materials, is presented. It is also included a list of the main Cuban deposits.

Suggestions to speed out the recovery of the geological-mining branch are offered. The main one is to enlarge the use of INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS, developing the small scale and handmade mining at municipal level. To reach this target it is necessary to change concepts about quantity and quality of mineral resources and reserves for this destination, and also to adapt the way of controlling exploitation and restoration of environmental impacts.

There are in Cuba a wide variety of raw materials of easy drawing and ore dressing, strongly demanded by population, which could be exploited through small scale and handmade mining. Among them outstand: sands, rubble and slaty stones for construction, red and kaolin clays for utilitarian and ornamental ceramic, ochers for pigments, semiprecious stones for jeweler's and craft, siliceous sand for special cement and refractory, medicinal slimes, etc.

If it was possible to carry out the University up to municipal level, there would also be possible to carry out the handmade geological-mining activity up to that instance. It could be applied to those minerals and rocks mentioned before, in order to facilitate its acquisition by local population, which will enhance its standing of live.



## INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo es ofrecer una visión panorámica de las perspectivas actuales de un importante recurso mineral no siempre conocido en sus pormenores, ni utilizado eficazmente en nuestra Industria. Se trata del conjunto de MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES existentes en nuestro país y cuyo estudio, explotación, comercialización y desarrollo a veces no es el más racional, independientemente de las características de nuestra Industria y las limitaciones de nuestro Comercio Nacional e Internacional.

## ANTECEDENTES

En siglos anteriores la localización de gemas y metales preciosos constituía el sueño de cualquier hombre con sed de aventuras y de riquezas. Posteriormente, en los finales del Siglo XIX y comienzos del XX fue el petróleo el material más buscado entre las materias primas para la industria moderna. Ya casi a mediados de ese siglo surge el *boom* del uranio y otros minerales radiactivos con motivo del florecimiento de la era atómica, pero en pleno desarrollo de la industria moderna adquiere trascendental importancia el uso de los MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES, los cuales están presentes en procesos tecnológicos de ramas tan diferentes como la química, el vidrio, la pintura, la metalurgia, la cerámica, joyería, artesanía, tratamiento de aguas y de residuales, abrasivos, explosivos, construcción, cementos, rocas decorativas, fabricación de alimentos, plásticos, mejoramiento de suelos, fertilizantes, farmacéutica, aislantes, electrónica, las telecomunicaciones y muchas otras.

En la era actual, donde el progreso de la tecnología nuclear, de las investigaciones espaciales, las telecomunicaciones y la protección del medio ambiente requieren de nuevos materiales o cambios a nuevas aplicaciones de los ya conocidos, los MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES se transforman o adquieren el carácter de materias primas típicas de la segunda revolución industrial y las más perspectivas del Tercer Milenio, tanto para mejorar las condiciones de vida del hombre, como para conservar la vida en el planeta donde habitamos (Kuzvart M., 1984).

## DEFINICIONES

El concepto y la definición de Mineral y Roca Industrial se enmarca dentro de la dinámica y rápido desarrollo de la Revolución Científico-Técnica, por la aparición de nuevas materias primas minerales con propiedades desconocidas hasta ese momento o nuevos usos para las ya conocidas.

Hasta hace pocas décadas en la literatura especializada se distinguían comúnmente tres grandes grupos de materias primas minerales: los **metálicos**, los **combustibles fósiles** y los **no-metálicos** en general. Esta clasificación se basaba a grandes rasgos en la finalidad industrial de la materia prima (Bates R.I., 1969; Borzunov V. M., 1969 ).

Para el primer grupo, los METÁLICOS, el concepto MENA (ORE en inglés; RUDÁ en ruso) como masa de minerales y/o rocas de la cual se obtienen en la industria metalúrgica elementos metálicos o sus compuestos, está claro (mena de hierro, de cobre, etc.). A veces este término se ha usado también para típicos minerales no-metálicos como los asbestos, el talco, la magnesita, la baritina, la fluorita y otros de alto grado de complejidad en la forma y contenido de sus depósitos.



Los COMBUSTIBLES FÓSILES (sólidos, líquidos y gaseosos), cuyo rasgo típico es ser fuente de energía, no presentan confusión alguna en su denominación (carbones, turba, lignito, esquistos bituminosos, petróleo, gas natural).

Se consideraban MINERALES NO METÁLICOS aquellas materias primas que se usaban en diferentes industrias que no fuera la metalúrgica y los que eran fuentes típicas de elementos no metálicos. Los materiales de construcción y otras materias primas generalmente quedaban fuera de este grupo.

Debemos señalar que hay otras características comunes a cada grupo, que también los distinguen. Por ejemplo, la mayoría de los depósitos del primer grupo, los metálicos, se explotan de forma subterránea, con altos costos de producción y alto precio unitario, lo que los hace mercancía típica del comercio internacional. Su composición química es básica para su evaluación geológica.

Los del grupo de los combustibles fósiles se producen en grandes cantidades y se consumen en todos los países, por lo que cada día sus reservas se agotan rápidamente y por lo tanto, además de su alto precio, constituyen materiales estratégicos para los países y las transnacionales que comercian con ellos. Su composición química y las impurezas que contienen son importantes para evaluar su calidad.

Los del tercer grupo, por lo general se extraen a cielo abierto, su producción en grandes volúmenes conlleva un bajo precio unitario, por lo que el comercio de la mayoría de ellos no resiste el traslado a grandes distancias, aunque son de uso esencial en las economías internas de los países. Para los no-metálicos, lo fundamental en su evaluación reside en sus propiedades físicas: fibrosidad, peso específico, resistencia mecánica, propiedades aislantes, dureza, color, brillo, etc. Además de la evaluación geológica, juegan papel determinante la evaluación tecnológica y su procesamiento industrial para lograr un producto final comercializable y con posibilidades de usos diferentes. En algunos casos esto último les confiere un alto costo de producción, por lo que sus precios en el mercado internacional son por lo general altos. Ejemplo de ellos son el asbesto, el óxido de titanio, el grafito y otros.

Además de las materias primas minerales cuya ubicación en cualquiera de los tres grupos mencionados no ofrece dudas, existen otras que tienen más de un uso o fin industrial, por lo que su ubicación en alguno de ellos resulta complejo, como es el caso de la hematita, mineral o mena de hierro, que constituye un valioso componente de pigmentos minerales; la magnetita, otra mena de hierro, que se usa como árido para hormigones pesados y como material de *sand-blasting*; la cromita, mena de cromo que además se utiliza como refractario y como abrasivo; el cinabrio, mena de mercurio de uso en la obtención de oro, que también se aplica en la medicina, en la fabricación de explosivos, de termómetros, etc.; la asfaltita y la turba (combustibles fósiles) utilizadas en el asfaltado de viales y fertilizantes, respectivamente.

Pueden incluirse en este conjunto las acumulaciones de residuales de la actividad minera o industrial --como son: marmoleras, plantas de levigación de caolines, salmueras de salinas, etc.-- de las que puedan obtenerse materias primas minerales que se pueden emplear en otras industrias.

Igualmente resultan de difícil ubicación en alguno de esos grupos establecidos el conjunto de tipos de aguas (natural, mineralizada, minero-medicinales, termales) y los lodos y



fangos terapéuticos, recursos minerales que aportan grandes beneficios económicos y sociales en diferentes ramas de la economía. Asimismo pudieran tenerse en cuenta los minerales radiactivos, que son fuente de energía, pero no son combustibles fósiles y que son de amplio uso también en medicina, agricultura y en otras aplicaciones.

En los últimos años en la práctica geólogo-minera de Cuba se abre paso la designación de MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES para lo que se conocía como No-Metálicos, a tono con las posibilidades más amplias y abarcadoras que ofrece este concepto, también desde el punto de vista clasificatorio (basado en el uso de la materia prima), ya que además recoge aquellos casos que no tenían cabida formal en las clasificaciones anteriores.

Bajo la denominación de MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES se agrupa un conjunto de materias primas minerales de diferentes génesis, que contiene aquellas que son fuente de elementos no-metálicos o sus compuestos simples y otras que se emplean en diferentes industrias (que no sea la metalúrgica), en forma natural o transformadas, englobando algunas que incluso se usan paralelamente como fuente de elementos metálicos. En este grupo quedan insertados los minerales radiactivos, los diferentes tipos de aguas, los fangos terapéuticos y diversos productos residuales la actividad minera e industrial.

Desde la segunda mitad del siglo pasado se han hecho numerosos esquemas de clasificación o agrupamiento de los Minerales Industriales (No metálicos) los cuales incluyen como bases los principios siguientes:

Alfabético; Químico-mineralógico; Mineralógico-petrográfico; Químico-físico; Genético-petrográfico; Físico; Genético; Tecnológico y económico; Geológico regional; Genético-tecnológico; Genético-económico; Genético-económico-tecnológico (Bates R.I., 1969; Borzunov V.M., 1969; Coutín D.P. et al., 1988; Kuzvart M., 1984; Tatarinov P.M., 1969)

Sobre la base de estos criterios y con vistas a una sistematización operativa y de fácil manejo para los profesionales de diferentes especialidades, basados en la experiencia existente, estamos presentando a continuación los MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES en una clasificación según sus fines industriales. Para los casos específicos de la investigación y prospección geológicas y para la docencia queda siempre la posibilidad de acompañarla, como un complemento, de la clasificación genética correspondiente.



## **CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES SEGÚN LA FINALIDAD DE SU PRINCIPAL USO INDUSTRIAL**

- I. MATERIAS PRIMAS MINERALES QUE SE USAN MAYORMENTE EN GRANDES VOLUMENES EN RAMAS ESPECÍFICAS COMO LA CONSTRUCCIÓN, CEMENTO, CERÁMICA, AGRICULTURA Y OTRAS
  - a) Materia prima para la construcción propiamente dicha: piedra triturada (rocas magmáticas, calizas y a veces mármoles), áridos naturales y calizas para bloques o cantos aserrados, margas para resebo, asfaltita para viales.
  - b) Piedras decorativas para recubrimiento, esculturas y otras piezas ornamentales: granitoides, mármoles, serpentinitas, calizas, tobas.
  - c) Materiales para cemento: calizas, margas, arcillas, yeso, tobas puzolánicas, feldespatos
  - d) Materias primas para cerámicas de diferentes tipos: arcillas rojas, margas, caolines, bentonita, feldespatos, wollastonita, cianita, dunitas.
  - e) Materias primas para la agricultura (fertilizantes y mejoramiento de suelos): arcillas bentoníticas, rocas fosfóricas, rocas zeolíticas, yeso, rocas calcáreas, rocas potásicas, turba, magnesita, dolomita
  
- II. MATERIAS PRIMAS MINERALES QUE SON USADAS DIRECTAMENTE EN LA INDUSTRIA O PREPARADAS DE DIFERENTES FORMAS A PARTIR DE MINERALES O DE ROCAS (talco, asbestos, diamante, roca granatífera, cuarzo, grafito, piedras preciosas y semipreciosas, mica, sal gema, rocas diatomáceas, wollastonita, magnesita, paligorskita, asbeto-crisotilo, dolomita, zeolitas, bentonita, ocre, cuarcitas, arena silícea, feldespato, yeso, minerales radiactivos, aguas minerales, minero-medicinales y termales, fangos terapéuticos, acumulaciones residuales de la actividad minera o industrial.
  
- III. MATERIAS PRIMAS MINERALES QUE SIRVEN COMO FUENTES DE ELEMENTOS NO-METÁLICOS O DE SUS COMPUESTOS SIMPLES (pirita para azufre, fluorita para flúor, fosforita para fósforo, boratos para  $H_3BO_3$  y  $B_2O_3$ ).
  
- IV. MATERIAS PRIMAS MINERALES DE RASGOS NO-METÁLICOS QUE SON FUENTES DE ELEMENTOS METÁLICOS O DE SUS COMPUESTOS, QUE SE EMPLEAN EN OTRAS INDUSTRIAS, ADEMÁS DE LA METALÚRGICA (cromita para  $Cr_2O_3$ , bauxita o laterita de aluminio para  $Al_2O_3$ , ambos usados además como abrasivos; magnesita para  $MgO$ , utilizada también en medicina, fertilizantes, etc.)



## **PASADO, PRESENTE Y FUTURO DE LOS MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES EN CUBA**

Las herramientas y armas que usaron nuestros antepasados aborígenes fueron mayormente de piedras duras, las cuales llegaron a labrar y pulir bastante bien: en los sitios arqueológicos se encuentran con frecuencia el burén de piedra para preparar el casabe y los ocre para adornarse ellos y las cavernas donde habitaban, los abalorios de cuarzo, ultrabasitas, gabroides y de otras rocas, entre diversos exponentes .

Desde la época del dominio español en Cuba se explotaron las piedras naturales para mampuestos, bloques, adoquines y como áridos de trituración. En los primeros siglos se usó mucho el bloque labrado y los fragmentos naturales de rocas para construcciones civiles y militares; las cercas para delimitar las posesiones o partes internas de ellas eran de piedras; las losas naturales para pisos, calles y patios se usaron con profusión, así como la cal, utilizada como aglomerante y como pintura; los ocre también para pinturas, las piedras para joyería y artículos mortuorios y de escritorio, las arcillas para cerámica (ladrillos, tejas, tinajas, macetas y porrones), etc.

Hasta finales de los años cincuenta del siglo pasado se explotaron las piedras decorativas (mármoles, calizas coloreadas, organógenas y porosas) (Belikov B.P., Coutín D.P. et al., 1980), los caolines, los materiales de construcción, materias primas para cemento, cerámica roja y blanca, barita para lodos de perforación, la sal del agua de mar y otros en forma esporádica y limitada, como la asphaltita y la magnesita (Petrov V.P., Belikov B.P., Coutín D.P. et al., 1973). En todos los casos los estudios geológicos y tecnológicos eran escasos, siendo los métodos de extracción mayormente artesanales

Con el triunfo de la Revolución, en 1959, se abre el acceso a nuevos mercados, tecnologías y experiencias de uso en países como Checoslovaquia, Alemania y URSS, lo que impulsó los estudios y evaluaciones geológicas de los MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES en forma sistemática a todo lo largo y ancho del territorio nacional. Se crearon instituciones para la investigación científica de la geología y la prospección geológica, con laboratorios e instalaciones para estudios petrográficos, mineralógicos, geofísicos y tecnológicos que apoyaron la evaluación de los recursos minerales conocidos y el pronóstico y búsqueda de otros potencialmente existentes en el país. El número de especialistas, técnicos y personal de apoyo en esta actividad creció considerablemente.

Como resultado de este inmenso trabajo se evaluaron la gran mayoría de los depósitos conocidos que tenían un mínimo de perspectivas y hoy día Cuba cuenta con yacimientos de sal gema, materias primas para cementos, materiales de construcción, agromenas, caolines para cerámica blanca, piedras decorativas, tobas vítreas (vidrio volcánico), turba, rocas zeolíticas, asphaltita, caliza para metalurgia, arcillas y margas para cerámica roja, feldespatos, bentonita y caolines para cerámica blanca, dolomita para vidrios y agricultura, cuarcita, caliza fosfatizada, talco, cromita refractaria, cuarzo, arena silícea, cianita, mica, wollastonita y granates (Coutín D.P. et al., 1980-1985). Se pronostican y localizan grandes manifestaciones de asbesto-crisotilo y se evaluaron las posibilidades de rocas bauxíticas y fosfóricas.





## CONSIDERACIONES FINALES

No obstante el cuadro positivo de nuestro potencial y posibilidades de desarrollo y aprovechamiento de los MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES, desde el comienzo de la década de los 90, factores políticos adversos en el ámbito internacional afectaron duramente la economía cubana y particularmente la actividad geólogo-minera, tanto investigativa como productiva. Excepto en algunos renglones relacionados con actividades priorizadas, actualmente la explotación y consecuente comercialización de los MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES presentan un relativo estancamiento.

Como quiera que estos importantes recursos de nuestra economía tienen características que los relacionan con múltiples ramas de la industria, se hace imperioso un análisis profundo y detallado, que permita incorporar estas materias primas al desarrollo del país. Recordemos que en estos momentos en Cuba estos materiales raramente son objeto de exportación y si de importación.

Entre los aspectos básicos para dicho análisis está la revisión de las leyes, reglamentos y disposiciones que rigen la actividad geólogo-minera y sus afectaciones reales o probables al medio ambiente (Evaluación de impactos ambientales; Ley de medio Ambiente; Ley de Minas; Reglamentación de la Ley de Minas), así como la redefinición en la Ley de Minas de los conceptos de **pequeña minería**, **minería artesanal** y **pequeñas producciones mineras**.

No es ocioso recalcar que "Pequeña Minería" no significa "Pequeñas producciones mineras" y que los términos "Pequeña Minería" y "Minería Artesanal" no son sinónimos, como es sobreentendido erróneamente en algunas situaciones. En el contexto del presente trabajo distinguimos explícitamente dichos términos.

Una cuestión fundamental reside en lograr que los trámites establecidos por las Leyes de Medio Ambiente y la de Minas con su reglamento (que inciden tempranamente, desde el momento en que se solicite una concesión minera y hasta que se extraiga y comercialice la primera tonelada del producto) puedan realizarse de una manera más simple y breve lo que estimularía a los inversionistas interesados, puesto que el mercado exige alta operatividad para responder a cualquier demanda o solicitud de materias primas o de productos, pero las obligaciones que imponen lo establecido actualmente no en pocos casos obstaculizan o sirven de freno a la actividad.

Por último, se debe valorar la necesidad de ampliar la actividad geólogo-minera para apoyar a la pequeña minería o minería artesanal, hasta el nivel de municipio. Con este fin se deberán flexibilizar los conceptos acerca de la cantidad, tipo y calidad de las reservas necesarias para esta actividad y adecuar los requerimientos para el control de la extracción y para la restauración de las afectaciones medioambientales.

Debemos señalar que la extracción en forma de Minería Artesanal existe en la actualidad en numerosas localidades, generalmente sin regulaciones y sin controles técnicos o fiscales y proporcionan a la población volúmenes considerables de materiales para cerámica utilitaria y decorativa y ladrillos; bloques aserrados, piedras semipreciosas, losas naturales, reseo, arenas y otros.

A guisa de ejemplo, solo mencionaremos entre otros la extracción de arenas aluviales en numerosos ríos y arroyos de la provincia de Pinar del Río (San Diego de Núñez, Las



Pozas, Macurijes, Guane, La Majagua, La Leña); de arenas eluviales de las provincias de Sancti Spíritus, Camagüey, Las Tunas y Santiago de Cuba; de material de relleno y préstamo en numerosas localidades; de cantos aserrados como elementos para paredes en Jagüey Grande y otros sitios de Matanzas; de arcillas para tejares criollos en Isla de la Juventud, Bayamo, Santiago de Cuba; losas en las provincias de La Habana, Matanzas y Santiago de Cuba.

Debemos significar que en Jagüey Grande existe una gran actividad minera artesanal en 5 zonas de extracción, donde operan más de 900 canteros. En el 2002 la producción superó los 3 millones de cantos --que garantizan los elementos de paredes para más de 10 mil viviendas-- lo que ayudó a solucionar parte de las afectaciones del huracán Michelle. En esta actividad la Autoridad Minera tiene bajo control legal, técnico y fiscal varios de los aspectos contemplados en las Leyes Minera y del Medio Ambiente, pero quedan otros muchos que no ha sido posible implementar (Mederos J.L., 2003).

La pequeña minería y la explotación artesanal en muchos casos pudieran realizarse en yacimientos con sectores de materia prima de calidades no aptas para el uso principal aprobado, en zonas de acumulación de escombros y desechos en yacimientos en explotación o abandonados, así como también en manifestaciones que por su volumen y calidad estudiados o pronosticados no alcancen categorías de yacimientos, los que permanecen, por lo tanto, como recursos minerales desvalorizados nacionalmente. Tales acumulaciones a nivel local, en municipios o provincias podrían resolver necesidades perentorias de la población, que actualmente presenta demandas importantes de áridos naturales o de trituración, ladrillos, bloques naturales o artificiales, losas naturales, así como también pinturas, artículos de cerámica utilitaria, etc. Paralelamente esto daría lugar a la creación de numerosas fuentes de empleo, precisamente en regiones donde no hay o son escasas las industrias y empresas de servicios o actividades agropecuarias que absorban el excedente laboral, que por razones diversas existe actualmente en diferentes regiones del territorio nacional.

La instrumentación y legalización de esta actividad de pequeñas producciones mineras, pequeña minería y minería artesanal podría ser tramitada por las administraciones del Poder Popular a nivel municipal y provincial, debidamente asesoradas por especialistas locales de la Autoridad Minera, el CITMA, Empresas Geomineras y otros organismos involucrados, que se apoyarían en las legislaciones y regulaciones que se desprendan del estudio que se realice.

Por su parte el incremento de esta actividad le inyectaría nueva vitalidad a las empresas de los organismos relacionadas con la investigación, extracción y comercialización de tales materiales (Minbas, Micons, etc.) que así podrían hacer más rentables los recursos humanos y el equipamiento de que disponen, siempre guiándose en la primera etapa de los trabajos por una política de precios estimuladora.

Si estamos logrando la universalización de la enseñanza y llevando la Universidad a los municipios, estamos convencidos que podemos llevar también la actividad de pequeña minería y minería artesanal a esos lugares, coadyuvando al desarrollo sostenible de los territorios, para con ello elevar el nivel y calidad de vida de sus pobladores.



## BIBLIOGRAFÍA

- Bates R.I., 1969. **Geology of the Industrial Mineral and Rocks**. Dover Publications Inc., New York,. 459 pp
- Belikov B.P., D.P.Coutín, et al., 1980. **Las rocas decorativas de Cuba** (en ruso). Ed. Nauka, 272 pp.
- Borzunov V.M., 1969. **Depósitos de minerales y rocas industriales, su explotación y evaluación económica** (en ruso). Ed. Nedra, Moscú, 334 pp
- Coutín D.P. et al. 1980-85. **Sistematización y generalización de yacimientos y manifestaciones de minerales no-metálicos de los territorios de las antiguas provincias de Cuba** (Varios Informes), Archivos IGP-MIB y Empresas Geólogo-Mineras del MIB
- Coutín D.P. et al., 1988, **Mapa de yacimientos y manifestaciones minerales no-metálicas y combustibles de la República de Cuba a escala 1:500 000**, IGP-MIB
- Evaluación de impactos ambientales**. Resolución N°168/95 de la República de Cuba
- Ley de Medio Ambiente**. Ley N° 81/97 de la República de Cuba
- Ley de Minas**. Ley N° 76/75 de la República de Cuba
- Kuzvart M., 1984. **Industrial Minerals and Rocks**. Ed. Vydala Academia , Praga, 452 pp
- Mederos J.L., 2003. **La pequeña minería y la minería artesanal en Cuba. Marco regulatorio. Experiencias prácticas**. Red CYTED, La Paz, Bolivia.
- Reglamento de la Ley de Minas**. Decreto N° 222/97 de la República de Cuba
- Petrov V.P., B.P.Belikov, D.P.Coutín et al., 1973. **Reseña de los yacimientos de minerales no-metálicos de Cuba** (en ruso). En el libro: Geología de los minerales útiles de Cuba., Ed. Nauka.
- Tatarinov P. M., 1969. **Curso de Yacimientos de minerales no-metálicos** (en ruso), Ed. Nedra, Moscú, 672 pp.

## PERSPECTIVAS DE CUBA EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES REFRACTARIOS BÁSICOS

**Carlos A. Leyva Rodríguez<sup>(1)</sup>, Leonid V. Kulachkov<sup>(2)</sup>, José A. Pons Herrera<sup>(1)</sup>,  
Andrés Salazar Moreno<sup>(1)</sup>, Rubén Gonzáles Pontón<sup>(3)</sup>, Israel Aleman Trotman<sup>(3)</sup>**

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba, CP: 83329. Telef: 6-7876, E-mail: cleyva@ismm.edu.cu

(2) Universidad Técnica de Sant Petersburg, Rusia.

(3) Empresa Geólogo Minera de Camaguey, Cuba.

### RESUMEN

Se destaca la existencia en nuestro país de perspectivas muy alentadoras para el desarrollo de la industria de productos refractarios no tradicionales, entre los que ocupan un lugar especial los refractarios básicos, y dentro de estos, los que se producen a partir de dunitas (olivino), serpentinitas, magnesita y cromita.

En Cuba, y especialmente en las regiones de Camagüey, Holguín, Pinares de Mayarí y Moa-Baracoa existen abundantes reservas de rocas duniticas, portadoras de mineral de olivino, que posibilitarían ser empleadas como arena de fundición, en la preparación de pinturas antiadherentes contra la penetración metálica, y en la obtención de productos refractarios conformados.

En el caso de las cromitas estas se explotan y exportan tradicionalmente en la región de Moa – Baracoa, consumiéndose un pequeño volumen en la industria nacional como arenas de moldeo. En la provincia de Camaguey existen más de 300 manifestaciones de cromitas, algunas de ellas con un elevado grado de estudio. Se expone la caracterización de las magnesitas de la provincia de Camaguey, donde se concentran los recursos de mayores perspectivas de esta materia prima en el país (yacimientos Redención, Olalla, y Sin Reposo). Se presentan los resultados que se han obtenido en las investigaciones geológico -tecnológicas con las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, especialmente como arenas de moldeo y pinturas antiadherentes, así como la caracterización de los principales yacimientos de cromitas y magnesitas de nuestro país y su comparación con exigencias técnicas internacionales.

La investigación conjunta de estos recursos orientada hacia sus aplicaciones como materiales refractarios, puede determinar una futura explotación integrada de los mismos, permitiendo una mayor factibilidad técnico- económica y pueden llevar a Cuba a pasar a ser un productor importante de materiales refractarios básicos y sus combinaciones, como mínimo a nivel regional.

### ABSTRACT

The existence in our country of very encouraging perspectives for the development of the industry of refractory products not traditional is outstanding, among those that occupy a special place there are the basic refractory ones, and inside these, those that are produced from dunites (olivine), serpentines, magnesite and chromite.

In Cuba, and especially in the regions of Camagüey, Holguín, Pinares de Mayarí and Moa-Baracoa exist abundant reserves of dunitic rocks, hosts of olivine mineral that would be employed as foundry sand, in the preparation of non- stick paints against the metallic penetration, and in the obtention of conformed refractory products.

In the case of the chromites these are exploited and exported traditionally in the region of Moa - Baracoa, wasting away a small volume in the national industry as molding sands. In the region of Camagüey exist more than 300 chromite manifestations, some of them with a high study grade. The characterization of the magnesites of the region of Camagüey is exposed, where there are concentration of resources of bigger perspectives of this raw material in the country (Redención, Olalla, and sin Reposo). The results obtained in the geological -technological investigations with the dunites serpentitized of the region of Moa are

presented especially as molding sands and non –stick paints, as well as the characterization of the main chromite and magnesite locations of our country and their comparison with international technical demands.

The combined investigation of these resources oriented toward their applications as refractory materials, can determine a future integrated exploitation of these resources, allowing a bigger technical -economic feasibility, and they can make Cuba an important producer of basic refractory materials and their combinations, at least at regional level.

## INTRODUCCIÓN.

Los materiales refractarios se clasifican por su composición sustancial, capacidad refractaria, porosidad y de acuerdo a su esfera de utilización. Las materias primas minerales empleadas para su fabricación se eligen basándose en las propiedades requeridas por la industria. Entre las variedades litológicas pueden ser destacadas: arcillas, caolines, bauxitas, arenas cuarzosas, cuarcitas, dolomitas, dunitas, rocas talcosas y serpentinitas y entre las variedades minerales: magnesita, cromita, cianita, sillimanita, andalucita, circón y grafito.

Una gran parte de las materias primas nombradas se localizan en nuestro país existiendo un empleo ya tradicional de algunas de ellas (arcillas, caolines, arenas cuarzosas, cromitas y magnesitas) aunque sus potencialidades de desarrollo en cuanto a la fabricación y diversificación de los productos refractarios es aún insuficiente.

En Cuba y específicamente en las regiones de Camagüey, Holguín, Pinares de Mayarí, Sagua de Tanamo y Moa-Baracoa existen abundantes reservas de rocas duníticas, portadoras de mineral de olivino, con importantes propiedades refractarias que garantizan su utilización como arena de fundición y en la preparación de pinturas contra la penetración metálica. Sin embargo no existen antecedentes del uso oficial de estos materiales en los talleres de fundición y demás empresas del país, solo se han realizado investigaciones que se exponen más adelante en este trabajo.

En el caso de las cromitas refractarias estas se explotan tradicionalmente en la región de Moa – Baracoa y existen más de 300 manifestaciones en la provincia de Camaguey, algunas de ellas con un elevado grado de estudio, que hacen que esta región tenga la ventaja de contar integralmente con el espectro de materias primas que justifica esta investigación, así como con una planta de materiales refractarios en la que se han fabricado experimentalmente ladrillos de cromita y de magnesitas.

## INVESTIGACIONES REALIZADAS CON LAS ULTRABASITAS

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) ha realizado investigaciones con las ultrabasitas de la región de Moa – Baracoa para la industria de materiales refractarios para la fundición durante más de una década. Entre estos trabajos se pueden destacar Leyva y Pons 1996, Pons y Leyva 1997, Pons y Leyva 1999, Salazar 1999, Pons 2000.

Durante la ejecución de estas investigaciones se han priorizado las litologías que proceden de la explotación de los yacimientos de cromitas de esta región. Entre los principales resultados podemos resumir los siguientes:

### **Características petrográficas y químicas de las ultrabasitas de los sectores Merceditas y Amores.**

Se pudieron establecer como las variedades más representativas (Salazar, 1999) a las siguientes litologías: dunitas serpentinizadas, harzburgitas serpentinizadas y en menor proporción serpentinitas. Entre los minerales identificados se destaca la presencia de relictos, alterados y corroídos de olivino y piroxeno ortorrómbico (enstatita), los minerales productos del proceso de serpentinización con predominio de la antigorita y en menor cuantía crisotilo y lizardita; como minerales accesorios (menos de un 3 %) magnetita, cromoespínelas, clorita, talco, carbonato y trazas de sulfuros de níquel.

La principal característica petrológica de las dunitas es su elevado grado de serpentinización, el cual es generalmente superior al que existe en las harzburgitas. Esto provoca que en muchas ocasiones sea muy difícil identificar adecuadamente la textura y composición modal primaria de estas rocas, Proenza, 1997; Pons, y otros, 1998, Pons y Leyva 1999. La composición química promedio (24 determinaciones) de las dunitas serpentinizadas presentes en los sectores de Merceditas y Amores se presentan en la tabla No. I.

**Tabla I. Composición química promedio de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, sectores Merceditas y Amores. (Tomado de Pons y otros, 1998; Pons y Leyva, 1999).**

Compuestos (%)	Dunitas serpentinizadas de la zona Merceditas	Dunitas serpentinizadas de la zona Amores.
SiO <sub>2</sub>	38,86	36,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,81	0,85
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,025
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,32	5,27
FeO	3,60	2,67
CaO	0,17	0,11
MgO	40,50	39,46
NiO	0,29	0,30
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,05
K <sub>2</sub> O	0,05	0,05
CoO	0,010	0,010
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35	0,37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,02
P.P.I.	12,30	14,40
Total	101,35	100,04
Relación : MgO/SiO <sub>2</sub>	1,04	1,08
Relación : Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO	1,20	1,97

Los análisis de microsonda electrónica efectuados a cristales de olivino presentes en las dunitas (ver tabla No. II), permitieron establecer valores de forsterita (Fo) y fayalita (Fa) entre: Fo = 91,62 - 92,48 % y Fa = 8,37 - 5,31 %, respectivamente.

**Tabla IV. Resultados promedio de los análisis de microsonda electrónica realizados a cristales de olivino presentes en las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, sectores Merceditas y Amores.**

Comp. (%)	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Total
Mercedita	40,89	0,001	0,020	0,015	53,19	0,000	0,097	5,357	0,430	100
Amores	41,65	0,015	0,023	0,013	52,84	0,009	0,055	4,945	0,478	100



### Características térmicas y mineralógicas de las dunitas serpentizadas de los sectores Merceditas y Amores.

En los registros gráficos de estos ensayos, se destaca el comportamiento uniforme de las dunitas serpentizadas de ambas zonas, con pequeñas diferencias en las temperaturas a las cuales se producen los efectos endotérmicos y exotérmicos, así como en las variaciones de masa que experimentan estos materiales durante su calentamiento, los cuales se muestran en la tabla III.

**Tabla III. Pérdida de masa en las diferentes etapas del proceso de descomposición térmica de las dunitas serpentizadas de la región de Moa.**

Muestras	$\Delta T$ (°C)	Pérdida de masa		Fases principales
		mg	%	
Merceditas	25 - 220	8,24	2,16	An.
	220 - 550	9,8	2,58	An.
	550 - 760	19,4	5,10	An. y Fo.
	760 - 900	2,8	0,74	Fo.
<b>Total</b>		<b>40,24</b>	<b>10,6</b>	<b>An. y Fo.</b>
Amores	25 - 235	18,2	3,71	An.
	235 - 570	21,8	4,44	An.
	570 - 760	27,04	5,51	An. y Fo.
	760 - 900	2,16	0,44	Fo.
<b>Total</b>		<b>69,2</b>	<b>14,1</b>	<b>An. y Fo.</b>

An : Antigorita.

Fo : Forsterita.

A partir de las curvas T.G y A.T.D, se tomaron los valores del grado de transformación ( $\alpha$ ) a cada temperatura, para los efectos endotérmicos (550 - 760 °C) y exotérmico (760 - 850 °C), lo que permitió procesar no menos de 20 pares de valores para cada uno de ellos. El cuadro general de la descomposición térmica de las dunitas puede resumirse en tres etapas fundamentales:

1. La pérdida del agua de hidratación.
2. La pérdida del agua de constitución.
3. Transformación de la fase antigorita en forsterita.

Hasta la temperatura de aproximadamente 235 °C, ocurre la eliminación de la humedad higroscópica que acompaña al material, donde se mantiene como fase principal la antigorita. Entre 200 – 700 °C se verifica un largo proceso de eliminación del agua estructural presente en este material donde se destacan como fase principal la antigorita y como fase secundaria la forsterita, cuya presencia está asociada en lo fundamental, a la descomposición térmica del olivino. Esencialmente en el intervalo de temperatura entre 700 – 850 °C ocurren dos procesos fundamentales: el desprendimiento de los grupos oxidrilos con un máximo, aproximadamente, entre 670 y 700 °C y la reorganización estructural del olivino, que se verifica entre 800 y 850 °C, con un pico agudo alrededor de 830 °C. A partir de los 750 °C la fase principal presente en el material es la forsterita .

En el intervalo de temperatura comprendido entre 900 - 1200 °C se mantiene estable la forsterita como fase principal, Pons, et al, 1999, mientras que a 1200 °C, se verifica, según los análisis de difracción de rayos X, la presencia de la periclase (MgO) como fase secundaria, acompañando a la forsterita. En el rango de temperatura entre, 1200 – 1600 °C, se mantiene la reacción anterior, la cual se ve favorecida por la estabilidad de las fases forsterita y periclase. Los estudios realizados por: Sahama, T., 1955; Muan, A. y otros, 1966; Nafzinger, R. y otros,

1967, 1970; Roy, D., y otros, 1970; Robie, R., y otros, 1988; Helgeson, H., y otros, 1990, empleando diferentes muestras de olivino sintético y natural, confirman este comportamiento.

Como resultado de los análisis termodinámicos y roentgenofásicos se obtiene como principal regularidad, que como consecuencia del calentamiento de los productos refractarios obtenidos a partir de las dunitas, en el rango de temperatura entre 1200 y 1600 °C, al ponerse en contacto el metal líquido en el molde, se produce la estabilización de las fases forsterita y periclasa.

### **Aplicación de las dunitas serpentinizadas de la región Moa Baracoa en los talleres de fundición.**

#### *Empleo de las dunitas serpentinizadas como pinturas antiadherentes.*

Teniendo en cuenta las diferentes recetas de pinturas reflejadas en la literatura (Enríquez, F.G, 1986; Enríquez, F.G. 1990; Salcines, C.M. 1985), así como tomando en consideración la experiencia acumulada en nuestros talleres en el empleo de estos productos, se elaboraron las pinturas autosecantes a base de dunita como componente principal o relleno.

Las pinturas obtenidas con una densidad que oscila entre 1,8 - 2,0 g/cm<sup>3</sup> poseen gran poder de fijación, elevada estabilidad térmica, buena viscosidad y fluidez, así como no sufren agrietamientos durante el secado de los moldes y machos. Las mismas fueron empleadas en la fundición de más de 40 piezas de aleaciones de hierro, aceros aleados y al carbono, aluminio, y aceros al manganeso, observándose en todos los casos que las superficies de las piezas no contenían incrustaciones y se observaron escasos defectos superficiales.

#### *Empleo de las dunitas en la elaboración de mezclas de moldeo.*

Para la preparación de las mezclas de moldeo (de cara y de relleno) se utilizó la fracción +0,2 - 0,63 mm, con la cual se confeccionó la receta que se muestra en la tabla siguiente, con la cual se han obtenido los mejores resultados, según Pons y Leyva, 1997.

**Tabla IV. Receta utilizada para la preparación de las mezclas de moldeo (de cara y de relleno) a partir de dunitas serpentinizadas.**

Componentes	Proporciones (%)
Dunita	90
Bentonita	6
Melaza	4

Los ensayos mecánicos realizados a la mezcla de cara obtenida, mostraron sus buenas propiedades, todas dentro de los rangos permisibles como se puede apreciar en la tabla V.

**Tabla V. Resultados de los ensayos mecánicos realizados a las mezclas de cara obtenidas.**

Mezclas	Muestras	Permeabilidad (U)	Humedad (%)	Resistencia a la compresión . (Kg/cm <sup>2</sup> ).
1	1	440	5,3	0,45
	2	467	5,1	0,50
	3	492	4,9	0,47
2	1	467	4,7	0,53
	2	440	5,0	0,42
	3	460	4,3	0,45
3	1	440	4,5	0,43
	2	467	4,7	0,55

	3	467	4,6	0,50
--	---	-----	-----	------

Con estas mezclas se moldearon diferentes tipos de piezas, fundidas posteriormente con aleaciones de hierro, aceros y aluminio. Las piezas obtenidas presentaron buen acabado superficial con contornos correctos y bajos porcentos de incrustaciones. Durante el proceso de moldeo se pudieron comprobar otras propiedades de la mezcla empleada como fueron: homogeneidad, plasticidad, compactabilidad y moldeabilidad.

Las mezclas desmoldeadas fueron preparadas para su utilización como arena de relleno, teniendo en cuenta la pérdida de humedad y cierta dilatación del material durante su empleo. Las mezclas de relleno preparadas con dunitas fueron sometidas a ensayos mecánicos, cuyos resultados demuestran que sus propiedades están dentro de las exigidas en los talleres de fundición, tanto para piezas de hierro, como para piezas acero.

#### *Empleo en la elaboración de mezclas para machos.*

Las mezclas para machos se prepararon a partir de dunita serpentinizada como material principal, mezclándose con melaza o con silicato de sodio; teniendo en cuenta las recetas recogidas en las literaturas consultadas (Enríquez, F.G, 1986; Enríquez, F.G. 1990; Salcines, C.M. 1985) así como las experiencias acumuladas en los talleres de fundición de la Unión del Níquel.

Las principales propiedades mecánicas de las mezclas obtenidas a base de dunita y melaza se comportan acorde con los requisitos exigidos, como son: Humedad: 4-5 %; Permeabilidad: mayor de 30 unidades y Resistencia a la Compresión en verde: mayor de 0,10 Kg/cm<sup>2</sup>. Durante las pruebas realizadas con los machos preparados a base de melaza se pudo comprobar su gran desmoldeabilidad, propiedad esta de gran significación para este tipo de producto.

#### **Ultrabasitas de Pinares de Mayari.**

Las ultrabasitas de Pinares de Mayari se estudiaron para fines refractarios en el trabajo Reconocimiento Geólogo Tecnológico de Olivino Pinares de Mayari, 1999, (Martínez, 1999) reportándose en el sector La Estrella los resultados de composición química siguientes:

**Tabla VI. Datos de composición química de las dunitas serpentinizadas del sector La Estrella, Pinares de Mayari.**

N o de pozo	Si O <sub>2</sub> , (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (%)	Mg O, (%)	PPI, (%)
E-2	35,99	4, 44	41, 20	14, 79
E-3	35,38	4, 28	42, 12	14,90
E-4	37, 68	5,90	39, 65	11,72
E- 5	35,18	4, 40	42, 31	15, 35
E- 9	37, 57	5,47	37, 93	14, 52
E- 10	33, 16	5,23	41, 47	14, 33

Se tomo una muestra tecnológica de 300 Kg entre los pozos E-3 y E-4, evaluándose como arena de moldeo en la Empresa de Equipos Industriales Marcel Bravo obteniéndose resultados satisfactorios. Se destaca además, como conclusiones de este trabajo que las rocas estudiadas están representadas realmente por harzburgitas y dunitas con diferentes grados de serpentinización.

#### **Ultrabasitas de Camaguey.**

En el caso de las ultrabasitas de Camaguey, aunque no se han realizado investigaciones especiales como materiales refractarios, es posible pronosticar las perspectivas que también se posee en esta dirección, pues como se puede apreciar más adelante, durante la exposición de la caracterización de las cromitas de este territorio, existe una marcada presencia de estas litologías, especialmente de las dunitas serpentinizadas, así como una caracterización de las mismas como parte de su relación genética y espacial con las cromitas. Presentamos a modo de referencia la composición química de rocas ultrabásicas asociadas a la mineralización cromífera en la tabla VII.

**Tabla VII. Datos de composición química de ultrabasitas de los sectores de prospección de cromitas de Camaguey, en %. (Tomado de Gonzáles, 2002).**

No. Mtra	Tipo de Roca	Si O <sub>2</sub>	Ti O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	PPI
2891	Lherzolita serpentinizada	37.9	0.002	0.67	9.8	6.35	0.121	38.83	1.04	7.7
3192	Serpentinita por Harzburgita	36.86	0.025	0.85	8.38	5.53	0.107	38.6	0.65	12.88
2882	Serpentinita por Harzburgita	36.42	0.025	0.58	8.11	4.04	0.116	39.1	0.33	12.58
2925	Serpentinita por Dunita	41.59	0.025	0.42	9.8	1.37	0.118	34.07	0.1	11.36
3186	Harzburgita serpentinizada	36.93	0.025	0.97	9.26	6.39	0.122	37.37	0.78	12.54
2889	Harzburgita serpentinizada	38.72	0.025	0.87	9.35	5.71	0.116	39.09	1.01	6.61
2746	Serpentinita	38.4	0.02	0.53	6.95	2.47	0.096	37.55	0.98	13.76
2815	Harzburgita serpentinizada	37.37	0.02	1.53	7.9	5.1	0.117	38.36	0.47	10.46
2859	Harzburgita serpentinizada	38.21	0.01	0.51	8.43	5.74	0.12	38.79	0.64	9.34
2604	Dunita serpentinizada	33.98	0.03	0.11	8.82	6.11	0.106	42.12	0.23	12.06

### **Perspectivas de las ultrabasitas en la fabricación de productos refractarios para la fundición.**

Como ha quedado demostrado en las investigaciones realizadas para arenas de moldeo y pinturas antiadherentes, se pueden obtener productos de calidad con las ultrabasitas de la región de Moa- Baracoa; igualmente las investigaciones desarrolladas con las dunitas serpentinizadas de Pinares de Mayari avalan estas perspectivas. Comparando las ultrabasitas de Camaguey con las empleadas de Moa- Baracoa y Pinares de Mayari se destaca que el % de Mg O es algo menor en las de Camaguey y que presentan mayores perspectivas las Harzburgitas y Dunitas, aún cuando tengan determinado grado de serpentinización. En el caso de Camaguey destaca el hecho de no haberse realizado trabajos especiales dirigidos a este objetivo; somos del criterio que deben existir sectores mucho más favorables y actualmente se trabaja en investigaciones en esta dirección con especialistas de la EGMC.

### **Perspectivas para el empleo de las ultrabasitas en la fabricación de refractarios conformados.**

En relación con estos productos y por ser hasta cierto punto novedoso para nuestro país se ofrece información básica sobre sus posibilidades de aprovechamiento desde el punto de vista geólogo- tecnológico.

Los materiales refractarios forsteríticos conformados poseen una alta estabilidad bajo la influencia de escorias básicas y con elevado contenido de hierro, también pueden soportar una alta carga de presión hasta temperaturas de  $1\,700^{\circ}\text{C}$ . Generalmente para la fabricación de estos productos a la materia prima magnesio – silicatada se añade de un 10 a un 30 % de polvo de magnesita calcinada (periclasa).

Además de los propios artículos refractarios forsteríticos es bastante común la preparación de materiales forsterítico- cromíticos añadiendo junto a la periclasa hasta un 15 a 25 % de concentrado de cromita para aumentar la longevidad de los productos. Debido a su carácter eminentemente básico pueden colocarse ladrillos de forsterita combinados con ladrillos de magnesita y cromita sin que se produzcan reacciones de contacto (Didier, 1993).

Como materia prima para la elaboración de los artículos refractarios forsteríticos se pueden emplear dunitas, serpentinitas y rocas talcosas. Las principales exigencias industriales a la materia prima para la fabricación de los artículos refractarios forsteríticos son:

- Contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  menor de 2, 3 %.
- Contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menor de 6%.
- Contenido de Ca O menor de 1, 5%.
- Relación  $\text{MgO}/\text{SiO}_2$  entre 0,94 y 1,33.

Los compuestos más dañinos para estos productos son los óxidos de calcio y de aluminio, su presencia provoca la formación de combinaciones fusibles en el curso del tratamiento térmico. Con la presencia del óxido de calcio surge la monticellita y con la del óxido de aluminio se forma la cordierita. El óxido de hierro contribuye a la formación de la magnetita.

Para el caso de nuestras ultrabasitas el módulo  $\text{Mg O}/\text{Si O}_2$  de las dunitas serpentinizadas es generalmente mayor de uno, no obstante, como se señala anteriormente a estos productos es común añadirle magnesita calcinada para mejorar sus indicadores de refractariedad. En el caso de las demás exigencias, contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  menor de 2, 3 %, contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menor de 6 %, contenido de Ca O menor de 1, 5 % se cumplen sin dificultad.

Actualmente existen investigaciones en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en coordinación con la Empresa Geólogo Minera de Camaguey y la Planta de Refractarios de esta provincia dirigidos a estos fines, pero aún no se tienen los resultados finales de las mismas.

## **YACIMIENTOS DE CROMITA.**

En Cuba, todos los yacimientos cromíticos se localizan en la provincia de Holguín y Camagüey, los yacimiento y manifestaciones están asociados al complejo ofiolítico, lo que constituye una particularidad de la geología de Cuba. En nuestro país se explotan las menas de cromo desde 1916, fecha en la que se embarcaron unas 34 toneladas métricas a Estados Unidos. En la actualidad se explotan los yacimientos Mercedita y Amores, en Moa y Baracoa respectivamente.

### **Yacimientos de cromitas de la región de Moa- Baracoa.**

#### **Yacimiento Merceditas.**

La región donde se ubica el yacimiento se encuentra en el macizo montañoso Moa -Baracoa, localmente situado en las cuchillas de Moa. El relieve de la región es variado, alrededor del 80

% es desarticulado y encontramos montañas de laderas abruptas, el resto está ocupado por altiplanos. Las cotas absolutas van de 180 a 900 m con diferencia promedio de 500. Los cuerpos cromíticos se relacionan espacialmente con las rocas duníticas y dunito-enstatíticas y hasta con algunas variedades de gabróides. Los cuerpos minerales tienen forma lenticular y yacen en su mayoría de forma concordante con las rocas de caja, con buzamientos suaves.

Las estructuras que presentan las menas en esta región son masivas, densamente diseminadas y diseminadas. Los puntos de mineralización se relacionan con los cúmulos ultramáficos, en este complejo aparece intensamente tectonizado, formando bloques irregulares limitados por fallas de diferente intensidad y edad. Macroscópicamente en el yacimiento Merceditas podemos encontrar según la estructura tres tipos de menas: masivas, densamente diseminadas y diseminadas.

Mineralógicamente las menas están compuestas por cromita fundamentalmente, además se encuentran en ella óxido e hidróxido de hierro y minerales de la serpentina en las grietas. Raramente diseminados en el mineral se pueden observar algunos minerales meníferos como la pirita, millerita y marcasita.

Las especies minerales más importantes que aparecen son la cromita (como mineral formador de menas y contenidos entre 80 – 95%) y la cromohercinita. Esta última en forma de agregados granulares sustituyendo parcialmente a la cromita. En la tabla VIII se ofrecen datos sobre la composición química del yacimiento Mercedita.

**Tabla VIII. Datos de análisis químico de cromitas del yacimiento Mercedita.**

No de muestras	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	FeO (%)	CaO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)
MP-1	29.40	7.01	9.95	0.03	24.60	20.39
MP-2	29.03	6.65	9.30	0.39	24.63	20.15
MP-3	31.14	4.32	9.96	0.46	26.05	18.55
MP-7	33.15	3.41	10.71	0.01	27.44	17.92
MP-9	31.75	5.07	10.21	0.01	26.12	18.97
MP-10	30.78	6.06	10.05	0.21	25.30	19.86
MP-11	30.80	6.71	10.05	0.01	25.34	19.42
MP-14	30.81	5.45	9.88	0.03	25.50	18.99
MP-15	28.27	8.41	9.23	0.12	25.15	19.82
MP-16	29.39	5.98	9.34	0.31	25.34	18.73
MP-17	31.95	4.17	9.60	0.03	26.60	18.09
MP-18	32.39	4.19	9.71	0.01	26.87	18.34
MP-19	32.27	4.45	9.48	0.04	27.00	17.91
MP-20	33.39	2.43	10.19	0.16	27.55	16.77
MP-54	34.28	2.55	10.87	0.27	26.26	17.03
MP-55	32.68	2.86	11.02	0.70	24.99	15.99
MP-57	31.92	4.64	10.39	0.01	26.13	17.97
MP-60	27.55	6.65	11.24	0.01	24.04	18.53
MP-61	31.60	5.62	11.98	0.02	25.30	18.11
MP-66	30.17	6.53	10.11	0.09	25.28	19.06
MP-67	21.26	14.58	8.66	0.01	16.88	25.93
MP-68	31.66	4.96	10.23	0.16	25.30	19.34

### Yacimiento Amores:



El yacimiento Amores se encuentra ubicado en el Municipio de Baracoa, Provincia Guantánamo. El mismo está situado en la parte Norte del macizo montañoso Sagua-Baracoa. Los cuerpos minerales cromíticos del yacimiento se caracterizan por tener forma de lentes pequeños y alargados. La mayoría de ellos se caracterizan por presentar variaciones bruscas tanto por el rumbo como por el buzamiento. Estos cuerpos se inclinan ligeramente hacia el N- E, con un buzamiento suave ( $30^{\circ} - 40^{\circ}$ ).

La siguiente tabla relaciona a modo de referencia datos de composición química de las cromitas del yacimiento Amores..

**Tabla IX. Datos de composición química de las cromitas del yacimiento Amores.**

Muestras	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (%)	SiO <sub>2</sub> , (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , (%)
M- 1	28.80	8.50	22, 44
M- 2	26.17	10.36	23, 68
M- 3	26.08	10.79	22, 46
M- 4	30.47	6.77	22, 32
M- 5	28.63	8.79	21, 53
<b>Promedio</b>	<b>27.93</b>	<b>9.12</b>	<b>22,49</b>

#### **Yacimientos de cromitas de la región de Camagüey.**

En el distrito cromífero de Camagüey se conocen más de 350 yacimientos y manifestaciones de cromita. La mayoría de ellos fue explotada, al menos parcialmente antes de 1959. Las menas fueron utilizadas al parecer en la industria refractaria. Se conocen cinco yacimientos con reservas extraídas superiores a las 100 000 t.: Camagüey, Victoria, Rafael, Aventura y Lolita (González, 2002). En la actualidad son canteras inundadas con reservas abandonadas. El yacimiento más grande es Camagüey-II con reservas superiores a las 750 000 t., el cual no ha sido explotado aún a causa de su profundidad de yacencia. Existen muchas canteras inundadas que carecen de datos de archivo y de trabajos de evaluación recientes, que pueden tener volúmenes de mineral significativos. Un ejemplo de esto es Mamina, cantera en la cual se encontraron unas 100 000 toneladas de mineral de buena ley, que pueden ser aprovechadas con un mínimo de trabajos mineros.

A continuación se da la descripción a modo de ejemplo de dos de los principales yacimientos desde el punto de vista económico Camagüey - II y Victoria - I.

#### **Yacimiento Camagüey- II.**

El yacimiento Camagüey-II se encuentra en la parte este de la asociación ofiolítica de Camagüey, al noreste de la ciudad del mismo nombre. Como parte del complejo peridotítico al que pertenece la variedad litológica predominante es la harzburgita. De forma subordinada aparecen las lherzolitas y werlitas así como las dunitas. Todas las rocas están serpentinizadas en mayor o menor grado.

Este yacimiento forma parte de un campo mineral junto con Camagüey-I y Nuevo Camagüey. Fue descubierto en 1942 Existe una pequeña cantera de donde se extrajo ese cuerpo, pero el yacimiento nunca fue explotado, posiblemente a causa de su profundidad de yacencia. Desde 1942 hasta 1987 se efectuó la prospección y exploración del yacimiento en varias etapas con más de 100 pozos y 14 300 metros.

**Tabla X. Contenido químico promedio de algunos pozos en Camagüey – II.**

Pozo	Desde (m)	Hasta (m)	Longitud (m)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %
822	93.90	110.70	16.80	29.97	6.65	27.71	1.45
828	69.45	76.10	6.65	31.48	7.94	27.51	1.25

La composición química promedio de los principales elementos para el yacimiento es: Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 29.50 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 26.55 %; SiO<sub>2</sub>: 6.80 %; CaO: 1.72 %.

El buzamiento de los cuerpos es abrupto con ángulo de 60°-80° Las menas son de grano fino a grueso, compuestas por espinela cromífera (70-94%) y minerales del grupo serpentinitico (4-28%). Las menas tienen textura masiva y densamente diseminada.

Varias muestras tecnológicas corridas en el país y en el extranjero confirman que la mena cromítica es idónea para su uso en la fabricación de ladrillos refractarios que se usan en los hornos rotatorios de la industria del cemento. Un estudio de factibilidad realizado en 1986 recomienda la extracción subterránea como la más económica.

#### Yacimiento Victoria – I.

Yace en la zona de transición hacia el complejo cumulativo por debajo de los gabros bandeados, donde se desarrollan ampliamente las dunitas. El cuerpo mineral original fue separado en bloques por la tectónica. La potencia alcanza 10 – 15 m. Su extensión por el rumbo es de 90 m. y por el buzamiento 80 m. Las menas están constituidas por cromopicotita. Son de textura masiva y densamente diseminada.

**Tabla XI. Contenido promedio de algunos pozos del yacimiento Victoria – I, en %.**

Pozo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>
V-4-4	30.78	5.33	27.42	0.75	13.88	1.60	17.41	0.42
4-80	28.50	6.55	27.98	0.72	11.30	0.28	18.80	0.28
4-81	30.15	5.64	28.19	0.74	11.80	1.37	17.58	0.28

La exploración detallada se realizó en 1988. Posee 150 000 toneladas de mena cromítica con contenidos promedios de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 29.30 %; SiO<sub>2</sub> - 6.60 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 26.91 % y CaO - 0.98 %.

Según González, 2002 un importante indicador metalogenético para la presencia de mineralizaciones de cromita, pueden presentar las anomalías geofísicas de cuerpos minerales y rocas. La diferencia relativamente grande de la densidad entre la cromita y la roca contigua ultrabásica permite que los cuerpos minerales aparezcan como un máximo gravimétrico local.

Es de interés además la conclusión a que llega este mismo autor al plantear que "en el nivel actual del perfil, la mayoría de los yacimientos y manifestaciones de cromitas en Camaguey se localizan en la parte superior del Complejo Peridotítico o en la parte inferior (Parte ultrabásica) del Complejo Cumulativo. Los minerales de cromita, que saturan discordantemente los gabroides del Complejo Cumulativo presentan posiblemente un desarrollo especial y no son de importancia económica. Las cromitas, tanto del Complejo Peridotítico como también del Cumulativo, presentan características sustanciales y mineralógicas similares, quiere decir, que se caracterizan por tipos de espínelas similares y por una composición geoquímica similar. En general las cromitas de ambos complejos se destacan por contenidos relativamente altos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (25- 30 %) y contenidos relativamente bajos de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Plantea además que "los cuerpos de cromita ricos en Al se encuentran contenidos en peridotitas, mientras que los cuerpos

minerales ricos en cromo se encuentran posiblemente en relación con peridotitas más profundas.

### **Perspectivas para la producción de refractarios a partir de las cromitas**

En el caso de los yacimientos Mercedita y Amores, como se ha indicado anteriormente, ellos se exportan desde hace varias décadas para su empleo por parte de productores extranjeros en la fabricación de materiales refractarios y un pequeño volumen se comercializa como arenas de moldeo en el mercado nacional.

Realizando una comparación de los yacimientos cubanos empleados para la industria de refractarios, y las exigencias técnicas a estos productos (Muñoz, 1999):  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$  mayor de 60,0 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mayor de 25,0 % y FeO máximo 15,0% respecto a los de Camaguey encontramos que la suma de los contenidos  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$  (mínimo) – 60,0 %, aun cuando no se llega a este valor en la mayor parte de las manifestaciones, si esta muy cerca, por encima del 56 % en los yacimientos más importantes. Es de destacar que el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (mínimo) – 25,0% se cumple en la mayor parte de las manifestaciones y el FeO (máximo) – 15,0 % se cumple sin dificultad.

Es importante también tomar como referencia las solicitudes de los clientes de la Empresa Cromo Moa, donde generalmente los concentrados de cromita para ser utilizados en la industria refractaria están en el siguiente orden:  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ : mínimo 31, 40 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : mínimo 26, 0 %,  $\text{SiO}_2$ : máximo 6. 40 %, Mg O: 18 % (promedio), Ca O: máximo 1 %, Fe O: 15 % máximo. En relación a estas exigencias excepto para el  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  algo inferior, los demás óxidos se pueden cumplir, más si tenemos en cuenta que para lograr estas exigencias la Empresa Cromo Moa obtiene concentrados de su planta de beneficio y a la vez prepara mezclas del mineral para lograr responder a las solicitudes.

Investigaciones realizadas en el yacimiento Victoria I a una muestra tecnológica por el laboratorio “José Isaac del Corral” señalan que la mena está representada por espinela cromífera del tipo cromopicitita en un 84 a 92 % y que los minerales de rara presencia en cantidades menores a 1 % son: pentlandita, melnicowita, pirita, magnetita, millerita, calcopirita y bornita. Como principales minerales formadores de roca están: serpentina, olivino, piroxenos, enstatita, clorita y carbonatos, los cuales alcanzan el 7 –15 %. El estudio plantea que el relativamente alto contenido de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (29 – 30 %), de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (27- 28 %) y MgO (18 – 19 %) así como bajo contenido de  $\text{SiO}_2$  (5 - 8 %) permiten utilizar las menas como materia prima idónea para la fabricación de refractarios de cromomagnesita.

De un peso no despreciable esta el hecho histórico de que fueron explotados varios yacimientos en la etapa anterior a la revolución como fueron: Camagüey, Victoria, Rafael, Aventura y Lolita.

Tenemos además conocimiento (comunicación oral del Tecnólogo Pablo Fernández, Planta de Refractarios de Camaguey) de que se han realizado producciones semiindustriales de ladrillos de cromita con materias primas de Camaguey y de Moa, con resultados alentadores, que lamentablemente no están bien documentados.

En este sentido urge la necesidad de elaborar estudios tecnológicos de mayor nivel de profundidad que permitan realizar estudios de factibilidad y proceder a la presentación de estas oportunidades de inversión; esto puede resultar mucho más atractivo si se integran también las

potencialidades de las ultrabasitas y de las magnesitas y se evalúan integradamente estas materias primas y sus posibles producciones.

## **YACIMIENTOS DE MAGNESITA.**

Con el triunfo de la revolución en el año 1959 se intensificaron los trabajos de prospección geológica para la búsqueda de esta materia prima, para su uso en la producción de fertilizantes para la agricultura, refractarios y otros usos.

En la región de Camaguey encontramos importantes acumulaciones de sedimentos magnesiales (Redención, Olalla y Sin Reposo), estos yacimientos han sido explotados desde la primera mitad del siglo XX. (Aleman 2002). La producción del yacimiento Redención es utilizada fundamentalmente en la agricultura del tabaco, calcinándose a temperatura de 700°- 1000 °C; los contenidos medios obtenidos después de calcinada la magnesita son de: MgO: 55%, CaO: 7-9 %, SiO<sub>2</sub>: 15-16 %.

### **Yacimiento Redención**

En la zona de desarrollo de los sedimentos magnesiales se describen tres cuerpos minerales (Koliutsky, 1966).

Cuerpo principal: Se extiende desde el noreste hacia el sureste, tiene una longitud de aproximada de 4 km y un ancho medio de 2.6 km. (Mikita, 1981, Koliutsky, 1966). El espesor medio es de 3 metros. Está situado a una profundidad de 36.1 metros en el suroeste y hasta la profundidad de 76 metros en el noreste.

El cuerpo mineral está compuesto por magnesita blanca, menos frecuente blanco-grisáceo con la presencia de dolomitas, paligorskita y minerales del grupo del cuarzo, se caracteriza por una composición química variable. Según los resultados obtenidos por G. Mikita, 1981 y Koliutsky, 1966, el comportamiento de los principales elementos es el siguiente: MgO: 40. 40-42.90 %, SiO<sub>2</sub>: 4.22- 6.25% y CaO: 2.15 – 4.43 %

Cuerpo superficial: Espacialmente ocupa el área actual y sus alrededores, aparece entre los 0.2 – 7.7 metros, la potencia promedio de los lentes de sedimentos magnesiales es de 6.77 metros, con potencias de hasta 28.2 metros. Los contenidos de MgO varían entre 32.43 – 42.13%.

Los sedimentos magnesiales están representados por arcillas blancas, muy blancas y blancuzcas redepositadas lixiviadas en paleocausas, con ancho desde varios centímetros hasta decenas de metros, en dependencia del relieve geomorfológico de la cuenca, por lo que su forma es irregular, con cambios litofaciales en espesor y calidad de la materia prima.

De acuerdo a los resultados químicos utilizados para el cálculo de reserva (M. Martínez, M. Nápoles, C. Valle, O. Pereda, 2002) el contenido promedio del cuerpo superficial es de MgO: 33.22%, SiO<sub>2</sub>: 10.22%, CaO: 4.16%.

Cantera Redención: Se refiere a la cantera en la que se iniciaron las explotaciones mineras en la década de los 40. En 1961 Koliutsky realizó trabajos de exploración mediante pozos criollos en red 50 x 50 metros. Debido a los cambios bruscos de potencia y calidad se densificó la red hasta 50 x 25 metros, la calidad de la materia prima es poco conocida, solamente se realizaron análisis para determinar el contenido de Mg O: 36.52 %.

### Yacimiento Olalla

El yacimiento Olalla se encuentra dentro de la asociación ofiolítica, en una zona del valle de inundación del vaso de la presa Pontezuela, casi en la base de la Meseta de San Felipe.

**Tabla XII. Datos de composición química del yacimiento Olalla, expresado en %.**

Lugar de muestreo	No. muestras	MgO	CaO	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
Borde Este de la cantera	1001	46.81	0.73	98.30	1.30
Borde Oeste de la cantera	1002	46.42	1.10	97.50	1.96
Nódulo en la trinchera No. 4	1003	45.90	0.98	96.40	1.76
Pozo criollo No.1	9776	45.65	2.51	95.41	4.46
Pozo criollo No.2	9777	46.28	1.67	96.73	2.97
Pozo criollo No.3	9778	44.61	3.59	93.23	6.39

### Yacimiento Sin Reposo.

El yacimiento de magnesita Sin Reposo se encuentra dentro de la Asociación Ofiolítica de Camaguey en el complejo Cumulativo, compuesto por gabros con una textura masiva y cumulativa y serpentinitas duniticas y peridotitas. Se encuentra asociado al yacimiento de cromo del mismo nombre.

El yacimiento cuenta con una cantera de 600 m<sup>2</sup> de área y profundidad de 1 a 1.6 metros. La magnesita esta representada por una roca porcelanada, muy blanca y por una variedad blanda y porosa de color gris a crema.

**Tabla XIII. Datos de composición química del yacimiento Sin Reposo, en (%).**

Lugar de muestreo	Intervalo de muestreo	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Pozo criollo No.21	0.5 - 1.5	41.05	1.18	9.32	1.05	2.36
Pozo criollo No.19	0.5 - 1.5	39.84	1.34	11.85	1.33	2.99
Pozo criollo No.18	0.5 - 1.4	39.20	1.47	14.10	0.87	1.66
Pozo criollo No.17	0.5 - 1.0	39.87	1.36	12.26	1.50	1.53
Pozo criollo No.15	0.3 - 0.9	42.41	1.36	8.01	0.60	1.16
Pozo criollo No.12	0.5 - 0.9	41.88	1.34	7.94	0.44	1.31
Pozo criollo No.9	0.5 - 1.0	39.20	1.35	13.14	1.15	2.73
Pozo criollo No.8	0.2 - 1.4	39.50	1.17	12.40	1.39	2.53
Pozo criollo No.6	0.2 - 1.3	38.95	1.18	13.96	1.04	2.50
Pozo criollo No.4	0.5 - 1.4	36.50	0.52	19.05	1.22	2.60
Pozo criollo No.3	0.5 - 1.8	35.15	0.71	21.40	1.48	3.33
Pozo criollo No.2	0.3 - 1.3	37.95	0.79	17.40	0.70	2.13
Pozo criollo No.1	0.3 - 1.3	41.57	0.59	9.40	0.59	2.53
Pozo criollo No1	1.3 - 1.9	42.24	0.59	6.35	0.58	2.00

Como resultado de los estudios anteriores se establecen como criterios e índices de prospección para las magnesitas de la región de Camaguey los siguientes (Aleman, 2002):

Criterios estratigráficos: Los sedimentos magnesiales se hayan dentro de la cuenca Magantilla en la Fm Vázquez de edad Mioceno inferior y medio, en el miembro arcillosos magnesiano en la litología de arcilla magnesianas.

**Criterio estructural:** Por la documentaciones de los pozos estructurales realizados por Koliutsky, 1996, las capas más productivas de sedimentos magnesiales no sobrepasan la profundidad de los 210 m.

#### Índices directos

Los sedimentos magnesiales más productivos se distinguen por ser rocas de color blanco que pueden contener mezclas de arcilla de color verde y las acumulaciones de sedimentos magnesiales generalmente tienen rumbo Noroeste (25°-30°) –Suroeste (209°-210°), y aparecen en forma de lentes o capas de gran extensión.

#### Perspectivas para el empleo de las magnesitas.

En el grupo de los refractarios básicos los de mayor importancia, sin lugar a dudas, son los de Magnesita y se emplean en sus distintos tipos.

La calidad química y tecnológica de la magnesita del yacimiento Redención ha sido estudiada a través de varias investigaciones geológicas (Mastko, 1962, Mikita, 1981, Morell, 1991, entre otros) los que atendiendo a los contenidos de óxidos de magnesio (MgO), la clasifican por clases, las que se pueden resumir en la tabla XIV.

**Tabla XIV. Clasificación por clases de la magnesita del yacimiento Redención.**

Clase	Contenido de Mg O, %
Clase No.1	> 40 %
Clase No.2	39.99 – 35,0 %
Clase No.3	34.99 – 30,0 %
Clase No.4	29.99 – 19,0 %
Clase No.5	< 18.99 %

Se han realizado varias investigaciones tecnológicas a escala de laboratorio del yacimiento Redención; durante los trabajos de Mastko, 1962, se enviaron a la antigua Unión Soviética tres toneladas de magnesita del denominado Cuerpo Cantera Redención. La composición química de la muestra fue la siguiente: MgO (31.59 – 45.47 %), SiO<sub>2</sub> (1.52 – 12.40 %), CaO (0.52 – 8.45 %). Como resultado de esta investigación se plantea lo siguiente:

Los minerales principales que constituyen la roca útil son: magnesita, dolomita, paligorskita y minerales del grupo del cuarzo. La textura es brechiforme y amorfa, el cemento lo constituye un cuerpo pelítico de magnesita y paligorskita. La dolomita está impregnada en la magnesita. Debido al intercrecimiento de la magnesita con los otros minerales es difícil enriquecer la magnesita.

En 1997 el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, realiza investigaciones para determinar el método de beneficio para la magnesita (Informe Técnico No.7), de los denominados cuerpos Superficiales y Principal.

**Tabla XV. Caracterización química de la muestra de cabeza de los cuerpos Superficial y Principal, en %.**

Muestra	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PPI
C. Superficial	33.94	42.26	15.96	1.68	1.44	0.89	0.15	39.69
C. Principal	36.13	4.26	12.23	1.29	1.08	-	-	41.39
C. Principal	38.46	4.35	9.26	1.19	1.04	-	-	43.40



A cada una de las tres muestras se le realizó análisis químicos por fracción granulométrica, con el objetivo de obtener concentrados de polvos metalúrgicos.

De los resultados del informe técnico referido los autores concluyen lo siguiente:

1. En las menas estudiadas se encuentran minerales carbonatados y arcillosos como minerales predominantes y como accesorios modificaciones de sílice y sulfatos de calcio y magnesio.
2. Las tres muestras están representadas por rocas sedimentarias con variables porciones de magnesita- dolomitas- arcillas. La muestra del cuerpo superficial tiene magnesitas (52%), dolomita (14%), arcillas (31%), modificaciones de óxidos de silicio (3%). Las otras dos muestras son muy semejantes en su composición teniendo: magnesitas (65 – 66%), dolomitas (14%), arcillas (20%).
3. En el análisis granulométrico de mineral molido bajo 9 mm, no hay concentración significativa de óxido de magnesio en ninguna fracción, mientras que las concentraciones de óxidos de silicio se distribuyen en todas las fracciones al igual que las restantes impurezas de ( $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Para analizar las perspectivas de las magnesitas de la región de Camaguey es imprescindible remitirnos a los resultados expuestos en el trabajo "Informe sobre la obtención de Óxido de Magnesio de las Magnesitas nacionales con el empleo de ácidos carbónicos" (CIPIMM, 1996); el cual llega a las siguientes conclusiones:

- 1- El procesamiento con ácido carbónico permite obtener más del 98 % de eficiencia de disolución del magnesio, con determinadas condiciones experimentales.
- 2- La calidad del óxido de magnesio obtenido a partir de la calcinación del carbonato básico a 1100 °C, satisface los requisitos de pureza establecidos para diferentes calidades ( $\text{MgO} > 98\%$ ,  $\text{CaO} < 1\%$ ,  $\text{SiO}_2 < 1\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , mucho menor de 0.001 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , mucho menor 0.001 %, PPI del 5%).
- 3- La tecnología del procesamiento con ácido carbónico permite por su alta selectividad y eficiencia, la explotación de las distintas menas presentes en el yacimiento mediante un mismo esquema tecnológico.

Se plantea en este estudio que "analizando los resultados de los ensayos tecnológicos observamos que el beneficio de las magnesitas por métodos químicos es el más óptimo, pues a partir de las magnesitas de baja calidad se obtuvieron calidades especiales de alta pureza de óxido de magnesio".

## CONCLUSIONES

1. Cuba posee perspectivas fundamentadas para la producción en nuestro país de materiales refractarios básicos, especialmente vinculados a las materias primas procedentes de las ultrabasitas de los complejos ofiolíticos, cromitas y magnesitas, lo cual permite pronosticar a mediano plazo que se pueda alcanzar una posición destacada en estas producciones. Entre estos productos, presentan mayores potencialidades de desarrollo aquellos a base de forsterita, magnesita y cromita (a partir de dunitas, serpentinitas, magnesitas y cromitas).
2. Las ultrabasitas de la región de Moa – Baracoa asociadas a los yacimientos de cromita, especialmente las dunitas serpentinizadas y harsburgitas, presentan un alto grado de serpentización, las pruebas realizadas con rocas similares en las investigaciones en el ISMM

y EGMO permiten avalar las mismas para obtener productos de calidad como arena de moldeo y pinturas antiadherentes para la fundición. Comparando las ultrabasitas de Camaguey con las investigadas de Moa- Baracoa y Pinares de Mayarí se destaca que el % de Mg O es algo menor en las de Camaguey y que presentan mayores perspectivas las Harsburgitas y Dunitas serpentinizadas, en el caso de Camaguey destaca el hecho de no haberse realizado trabajos especiales dirigidos a este objetivo.

El empleo de las arenas de dunitas serpentinizadas en los talleres de fundición contribuirá a mejorar la calidad de vida de los obreros y prolongar la vida útil de los equipos, en comparación con el uso de la arena sílice, que es el producto que para estos fines se emplea en casi todo el país.

En el caso de los refractarios conformados, para el caso de las ultrabasitas de Moa Baracoa el módulo  $Mg\ O/Si\ O_2$  de las dunitas serpentinizadas es generalmente mayor de uno, aunque se debe considerar que a estos productos es común añadirle magnesita calcinada para mejorar sus indicadores de refractariedad. En el caso de las demás exigencias contenido de  $Al_2O_3$  menor de 2, 3 %, contenido de  $Fe_2O_3$  menor de 6%, contenido de Ca O menor de 1, 5% se cumplen sin dificultad.

3. Las características y grado de estudio que presentan los yacimientos de cromitas de Moa-Baracoa avalan su potencialidad para ser empleadas como material refractario básico. En el caso de Camaguey su composición química está muy cerca de las establecidas, solo en el caso del  $Cr_2\ O_3$  se encuentran ligeramente por debajo del mismo, no obstante es necesario realizar una valoración integral de estas menas, pues en el caso de los yacimientos de Moa- Baracoa es común mezclar las menas de diferentes yacimientos para cumplimentar las exigencias de los clientes. Es importante considerar la recomendación realizada durante el estudio de la muestra tecnológica del yacimiento Victoria I en consideración a que el relativamente alto contenido de  $Cr_2O_3$  (29 – 30 %), de  $Al_2O_3$  (27- 28 %) y MgO (18 – 19 %) así como bajo contenido de  $SiO_2$  (5 - 8 %) permiten utilizar las menas como materia prima idónea para la fabricación de refractarios de cromomagnesita.

4. El grado de estudio y caracterización de los depósitos magnesiales de Camaguey es un elemento favorable en relación con esta materia prima. Si bien es cierto que las impurezas de nuestras magnesitas son algo elevadas, es importante destacar las investigaciones realizadas para el beneficio de las mismas, especialmente con ácido carbónico al obtener más del 98 % de eficiencia de disolución del magnesio, con determinadas condiciones experimentales.

5. La investigación integrada de estas materias primas, ultrabasitas, cromitas y magnesitas orientadas hacia la producción de refractarios básicos, puede derivar en una explotación integrada de las mismas, ejemplo, durante la explotación de los yacimientos de cromitas se planificaría la misma tomando en consideración el uso además de las ultrabasitas. Mucho más peso posee esta valoración, si consideramos que existen en la provincia de Camaguey manifestaciones de magnesitas relacionadas espacialmente con las cromitas y ultrabasitas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aleman T. I. 2002. Caracterización genética de los depósitos magnesiales de la provincia de Camaguey. Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. Cuba.  
Blanco, F., L. Ibañez. 1998. Ensayos de reblandecimiento y fusión realizados a dunitas serpentinizadas de la región de Moa, Cuba. Informe Técnico. Universidad de Oviedo. España.

- Blanco, D, 1996. Informe Exploración de Explotación del flanco SSE de Magnesita Redención. Provincia de Camaguey. Archivo Técnico Geominera Camaguey.
- Colectivo de autores. 1999 "Petrología y mineralización de la Asociación Ofiolítica en la región de Camagüey." I.G.P. La Habana.
- Didier, 1993. Técnica Refractaria Didier. Materiales refractarios y sus características, Ed. Didier-Werke AG, Alemania.
- Enríquez, F.G. 1990. Mezclas de moldeo y pinturas antiadherentes. Edit. Científico-técnica. Ciudad Habana. Cuba.
- Escobar, E. 1998 "Informe geológico y cálculo de reservas de la exploración detallada del yacimiento cromífero Camagüey II." O.N.R.M.
- Fonseca E., Zelepuguin, V. M., Heredia, M. 1984. "Particularidades de la estructura de la Asociación Ofiolítica de Cuba. Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio (9)p.p. 31-46.
- Formoso, A. P., M. Sirgado, L. García, y otros. 1994. La dunita como agente de eliminación de alcalinos en el horno alto. Revista de Metalurgia. CENIM. Vol. 30. No.4. Madrid.
- Formoso, A.P., C.P. Cubillo, J. Ortiz. 1988. Caracterización completa de una muestra de serpentina cubana denominada "Si". Informe técnico. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid.
- González, P. R. 2002. Metalogenia de la Asociación Ofiolítica de Camaguey, Cuba. Tesis de maestría. EGMC- ISMM.
- González, P. R. 1998. "Mineralizaciones cromíticas de la Asociación Ofiolítica de Camagüey, Cuba". Memorias del III Congreso Cubano de Geología y Minería. p.p. 281- 283. La Habana.
- González, P. R.; Chang, A. y otros. 1998. "Banco de Datos Geológicos sobre las cromitas de Camagüey". La Habana. O. N. R. M.
- González, P.R.; Richter, J. 1990. "Informe final de la Exploración en el yacimiento de cromita Victoria-I." La Habana. O. N. R. M.
- Hanig, D.; Richter, J.; R. González Pontón. 1989. "Metodología para la prospección de cromitas refractarias a escala 1: 10 000 en la provincia de Camagüey". Memorias del I Congreso Cubano de Geología y Minería. La Habana.
- Hernández N.1997. Informe técnico No.7 Preliminar del Beneficio de tres muestra de magnesita de los Cuerpos Superficial y Principal del yacimiento. CIPIMM La Habana
- Hernández N. 1986. Informe Técnico No.39. Obtención de óxido de magnesio de las magnesitas nacionales con el empleo de ácido carbónico. CIPIMM. La Habana.
- Hernández N.1985. Informe técnico No.15. Estudio del beneficio de una muestra de magnesita correspondiente al bloque 1C del yacimiento Redención, Cuerpo Superficial. CIPIMM. La Habana.
- Iturralde-Vinent, M. 1994. Geología de las ofiolitas. En ofiolitas y arcos de islas volcánicos de Cuba. I. U. G. S. \UNESCO. International Geological Carrelation Program. Proyect 364. Ciudad de la Habana pp 83-120.
- Koliutki.V.N. et al:1966. Informe sobre los Trabajos de Búsqueda y Explotación del yacimiento Magnesita Redención. Provincia Camaguey. Oficina Nacional de Recursos minerales. Camaguey.
- Labrada G. J., y otros. 1989. Informe sobre los resultados de la exploración del yacimiento Amores (cuerpo 1,2,5,10). Oficina Territorial del Fondo geológico. Santiago de Cuba.
- Leyva R.C., J. Pons. 1996. Materias primas minerales de la región de Moa como materiales refractarios y aislantes térmicos en la industria del níquel. Revista Minería y Geología. 13 (1). Pp 73 -75.
- Leyva R.C., y otros. 1998. Composición sustancial y perspectivas de utilización de las ultrabasitas asociadas a la mineralización cromífera. Memorias del III Congreso Cubano de Geología y Minería. Vol I, pp 350-354. La Habana.
- Martínez M; Nápoles M; Valle C; Pereda O, 2002 Resumen integral de las investigaciones realizadas hasta la actualidad en los sedimentos magnesiales en la provincia Camagüey. Inédito.
- Martínez S. A. et al. 1999. Reconocimiento Geólogo- Tecnológico de Olivino Pinares de Mayari. Empresa Geominera de Oriente.
- Matsko. E. et al :1961 Informe sobre los resultado de la Explotación del Yacimiento Magnesita Redención. Provincia Camaguey. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Camaguey .
- Matsko E. et al. 1963. Informe sobre los trabajos de búsqueda de Magnesita en los Yacimientos Olalla y Sin Reposo. Provincia Camaguey. Oficina Nacional de Recursos Minerales. Camaguey.

- May, Peter; Jäckel, R. 1987. Instituto para materias Primas Minerales y Economía de Yacimientos de Dresden. "Informe sobre las investigaciones tecnológicas a 5 muestras de cromo para evaluar su idoneidad para la producción de materiales refractarios básicos." Dresden, Alemania.
- Méndez Garcés Julian A. 2000. "Caracterización tecnológica de los depósitos de cromita de la provincia de Camagüey, República de Cuba". Disertación presentada a la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo, para la obtención del grado de Maestro en Geología. Sao Paulo. O.T.R.M.
- Metallurgiya, 1991. Ogneupornie izdeliya, material i sirio. Spravochnik. (en ruso).
- Mikita G; Hrinko V., Iraola N.1980. Pasaporte de la muestra tecnológica del cuerpo principal del yacimiento Magnesita Redención. Geominera Camaguey.
- Mikita G; Hrinko V. et al. 1981. Informe Final de la Exploración Orientativa y Detallada del cuerpo superficial de Magnesita Redención. Provincia de Camaguey. Archivo Técnico Geominera, Camaguey.
- Mikita G; Hrinko V. et a. 1981. Informe Preliminar de la 1<sup>era</sup> sub – etapa de la Explotación complementaria del Cuerpo Principal de magnesita Redención. Archivo Técnico Geominera Camaguey.
- Muñoz Gómez, J. N. 1997. "Geoquímica y Mineralogía de la Mineralización cromífera asociada al complejo ofiolítico en la región de Moa - Baracoa, Cuba". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Facultad de Minería y Geología. Moa. Holguín, Cuba.
- Nápoles, M, C. Valle. 1995. Informe Exploración orientativa y detallada de Sedimentos Magnesiales en el flanco Sureste de la Cantera y Sectores del Cuerpo Superficial del yacimiento. Provincia Camaguey. Archivo Técnico Geominera Camaguey.
- Pons, H.J. 2000. Obtención de productos refractarios para la fundición a partir de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas. Moa.
- Pons, H.J., C. A. Leyva, A. Fiol. 1998. Características generales de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa. (zona Merceditas). Revista Minería y Geología. No.2. Moa.
- Pons, H.J., C. A. Leyva. 1997. Aplicación de las dunitas serpentinizadas en los talleres de fundición. Revista Minería y Geología. Moa. Vol. 14. No.1. Moa.
- Pons, H.J., C. A. Leyva. 1999. Características generales de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa. (zona Amores y Miraflores). Revista Minería y Geología. Moa.
- Proenza, J.F. 1997. Mineralizaciones de cromita en la faja ofiolítica Mayarí - Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Merceditas. Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias geológicas. Universidad de Barcelona. Barcelona.
- Puchol, R.Q. 1999. Estudio termodinámico de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa, zonas Merceditas y Amores. Informe Técnico. Universidad McGill, Montreal. Canadá.
- Rodríguez, G. y otros 2000. Proyecto Exploración Flanco Suroccidental Merceditas. Empresa Cromo Moa. Año 2000.
- Rodríguez E. y otros. 2004. Proyecto de Explotación Amores. Año 2004.
- Salazar, M. A. 1999. Composición sustancial y perspectivas de utilización de las ultrabasitas asociadas a la mineralización cromífera de la región Moa-Baracoa. Tesis de maestría. ISMM.
- Salcines, C.M. 1985. Tecnología de fundición. Tomo I. Edit. Pueblo y Educación. Ciudad Habana. Cuba.
- Semionov, Y. L. 1968. "Yacimientos cromíticos de Cuba". Revista Tecnológica. Vol. VI. No. 3 - 4. pp. 17 -30. La Habana.



## USOS DE LOS ESQUISTOS PARA REVESTIMIENTO DE PAREDES EN EXTERIORES EN LA ISLA DE LA JUVENTUD.

Ing. José Cantillo Boloy

*Empresa Geominera Isla, carretera Gerona Beach Km 1 ½ Nueva Gerona, Isla de la Juventud.*

Estos trabajos tenían como objetivo evaluar los esquistos con fines constructivos, para enchape en exteriores, con los cuales se hicieron los trabajos en seis cabañas del hotel Colony, la casa de visita No. 5 del Poder Popular que está en la carretera de La Siguanea, en el km 2 ½ de esta carretera, y la iglesia metodista de la Demajagua. Se hicieron análisis de laboratorio para conocer su resistencia a la flexión, su permeabilidad (absorción), además se midió la temperatura interna de los locales y los trabajos de enchape realizados en las cabañas del Colony se hicieron lo más cercano posible al mar para conocer la agresividad del salitre a esta materia prima. Se emplearon métodos geológicos de búsquedas (itinerarios geológicos, muestreos de afloramientos, etc.). Se pudo comprobar que:

- Existen los recursos necesarios de esta materia prima para 20 años o más.
- La resistencia a la flexión se comporta muy bien, según las normas establecidas. ( $> 60 \text{ kg/cm}^2$ ).
- La absorción se comporta muy bien, según las normas establecidas ( $e/ 1.5 - 2.5 \%$ ).
- Por mas de 2 años llevan enchapadas las paredes de las cabañas del Hotel Colony y no han sufridos cambios en su coloración, ni desgaste del material que se utilizo.
- Podemos concluir diciendo que se cumplió con el objetivo del trabajo, evaluar como materia prima para el enchape de paredes en exteriores los esquistos que se encuentran en los sectores de estudio, cerro Del Monte y Del Ají. Los resultados de laboratorio por área fueron los siguientes:

No	Sector	Area	Resist. a la Flexión ( $\text{kg/cm}^2$ )	Absorción (%)
1	San Pedro	I	$65.3 \text{ kg/cm}^2$	1.69
2	San Pedro	III	$71.2 \text{ kg/cm}^2$	1.86
3	San Pedro	IV	$64 \text{ kg/cm}^2$	2.05
4	San Pedro	V	$60.1 \text{ kg/cm}^2$	2.3
5	Del Ají	VI	$28 \text{ kg/cm}^2$	2.0
6	Del Ají	VII	$32.7 \text{ kg/cm}^2$	2.9

**Las áreas de mejores resultados son la I, III, IV, V.**



## APLICACIONES CERAMICAS DE LA ANFIBOLITA DE LOMA DAGUILLA (ISLA DE LA JUVENTUD)

**Rolando González Arango** <sup>(1)</sup>, **Rafael Meriño Collazo** <sup>(2)</sup>

(1) Empresa Geominera Isla, km 1½ Carretera a Gerona Beach, Nueva Gerona, I.J

(2) Empresa de Cerámica "Botija", km 1½ Carretera a Gerona Beach, Nueva Gerona, I.J

### RESUMEN

El macizo de Loma Daguilla es el único afloramiento significativo de anfibolita en el relieve de la Isla de la Juventud, considerándose el origen más probable de esta roca como apomagmático.

La misma se revela como un prometedor mineral industrial, a partir de que, desde el punto de vista cerámico, es un fundente, lo mismo que el feldespato, la nefelina y otros de uso tradicional, aunque mucho más coloreado, a pesar de lo cual, siendo correctamente formulado, se obtiene un resultado parecido.

Un gran número de investigaciones cerámicas realizadas durante los años 1991 y 1992 demostró su aptitud en la producción de artículos pálido coloreados de vajilla, sanitarios y de ornamento, así como de esmaltes coloreados y de pigmentos. Las pruebas de vajilla se llevaron hasta la escala industrial con éxito, consistiendo en la fabricación de 2000 platos hondos, con buenos índices de calidad.

La anfibolita presenta un grado de fusión mucho mayor que los feldespatos, a la vez que su mucho más alto contenido de óxido de hierro (~ 10 %) le permite ofrecer color a determinados tipos de pastas como las de esmaltes coloreados y de pigmentos. Este alto grado de fusión posibilita utilizarla entre el 1 y el 12 %, para temperaturas de 1200–1250°C, en pastas de color claro, como las de vajilla, y obtenerse productos de loza y de gres, mientras que el feldespato se utiliza entre el 24 y el 32% en la industria cerámica de la Isla de la Juventud para una producción de gres.

### INTRODUCCION

El macizo de Loma Daguilla, con una cota máxima de 185,8m y un área aproximada de 0,8km<sup>2</sup>, es el único afloramiento significativo de anfibolita en el relieve de la Isla de la Juventud. La anfibolita ocupa la mayor parte del cuerpo rocoso, y su origen más probable es apomagmático. Por su composición química, forma de meteorización y textura, entre otros aspectos, se le puede relacionar con un magma de composición basáltica, emplazado dentro del macizo metamórfico Jurásico Inferior– Cretácico Inferior, siendo también metamorfozado posteriormente. En su composición mineralógica predomina ampliamente la hornblenda, conteniendo también plagioclasa, esfena y magnetita, y en cantidades despreciables, otros. Desde el punto de vista cerámico, la anfibolita de Loma Daguilla resulta ser un fundente, capaz de ejercer una función similar que el feldespato de pegmatita, el granito, la sienita nefelínica y otras rocas de uso tradicional, que se prefieren por su mucho mayor grado de pureza. No obstante, queda demostrado que la anfibolita de Loma Daguilla, aprovechando su mayor capacidad fundente, se puede utilizar en menores proporciones que aquellas, obteniéndose resultados similares, lo que unido a su gran reserva (decenas de millones de toneladas), eleva su importancia como mineral de aplicación industrial.

### COMPOSICION DE LA ANFIBOLITA

La roca esta compuesta por hornblenda, 55– 80%, andesina–oligoclasa, ~35%, esfena, <5%, magnetita, ~2–3%, y, en mucha menor cuantía, otros como el cuarzo y el granate. La textura varía entre granonematoblástica, porfidoblástica y allotriomórfica, siendo los granos finos y anhédricos. Su composición química, mostrada en la Tabla 1, la revela como una roca de origen basáltico, posteriormente metamorfozada, integrante de un arco volcánico de edad probable Jurásico, según lo más aceptado (Linares y Millán, en Furrazola–Bermúdez y Nuñez, 1997), opinión que también compartimos en el presente trabajo, a partir del plegamiento sufrido por la roca, que temporalmente se puede asociar al de las rocas metamórficas encajantes apoterrígenas, y también por su estructura y elementos de yacencia análogos a los de aquellas.





Tabla 1. Composición química de la anfibolita Loma Daguilla en comparación con basaltos investigados por Green y Ringwood (en % de peso)

	Basalto con gran contenido de $Al_2O_3$	Toleíta cuarzosa	Toleíta cuarzosa pobre en potasio	Basalto potásico-olivínico	Basalto potásico olivínico oxidado	Toleíta olivínica pobre en potasio	Anfibolita Loma Daguilla
$SiO_2$	49,9	52,2	49,9	45,4	45,4	46,2	46,9
$TiO_2$	1,3	1,9	2,1	2,5	2,5	0,1	0,6
$Al_2O_3$	17,0	14,6	13,9	14,7	14,7	14,5	17,6
$Fe_2O_3$	1,5	2,5	2,8	1,9	9,8	0,5	1,9
$FeO$	7,6	8,6	9,7	12,4	4,2	11,8	8,3
$MnO$	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2
$MgO$	8,2	7,4	8,5	10,4	10,4	12,5	9,8
$CaO$	11,4	9,4	10,8	9,1	9,1	13,0	13,1
$Na_2O$	2,8	2,7	1,8	2,6	2,6	0,8	0,9
$K_2O$	0,2	0,7	0,1	0,8	0,8	—	0,2
$P_2O_5$	—	0,2	0,2	—	—	—	0,5
$Cr_2O_3$	—	—	—	—	—	0,2	—
$Li_2O$	—	—	—	—	—	—	0,1
$SO_3$	—	—	—	—	—	—	0,5
P. p.i	—	—	—	—	—	—	1,1

## ENSAYOS FISICOS REALIZADOS

A partir de la composición química de la anfibolita, se observó que su alto contenido de  $CaO+MgO$  (22,9%) y de  $Fe_2O_3+FeO$  (10,2%), unido a un contenido de  $Al_2O_3$  cercano al de una roca granítica (17,6%), eran propicios para el empleo de la misma como fundente para un tipo de cerámica coloreado, debido, precisamente, al elevado contenido de hierro total. Para materializar esto, se proyectaron ensayos de fusión, durante los cuales los fragmentos de rocas tomados se pulverizaron en un molino de bolas de porcelana, previa reducción manual con martillo, y el polvo recogido se colocó en forma de cono sobre una base de masa cerámica cruda, de forma rectangular, junto con otras muestras de feldespatos conocidos, y luego sometido al fuego a  $1250^{\circ}C$ , observándose como los conos de feldespato mantuvieron su forma original en el nuevo estado pétreo adquirido, mientras que los conos de anfibolita se fundieron mucho más, adoptando una forma abombada de una significativamente menor altura (Fig.1). Pero, además, algunos fragmentos de varios centímetros de la roca anfibolítica también se derritieron en el horno como si fuesen lava, quedando pegados al soporte, mientras que fragmentos similares de roca feldespática apenas adquirieron cierto brillo, pero sin llegar a fundirse, y por lo tanto, no quedaron pegados al soporte.

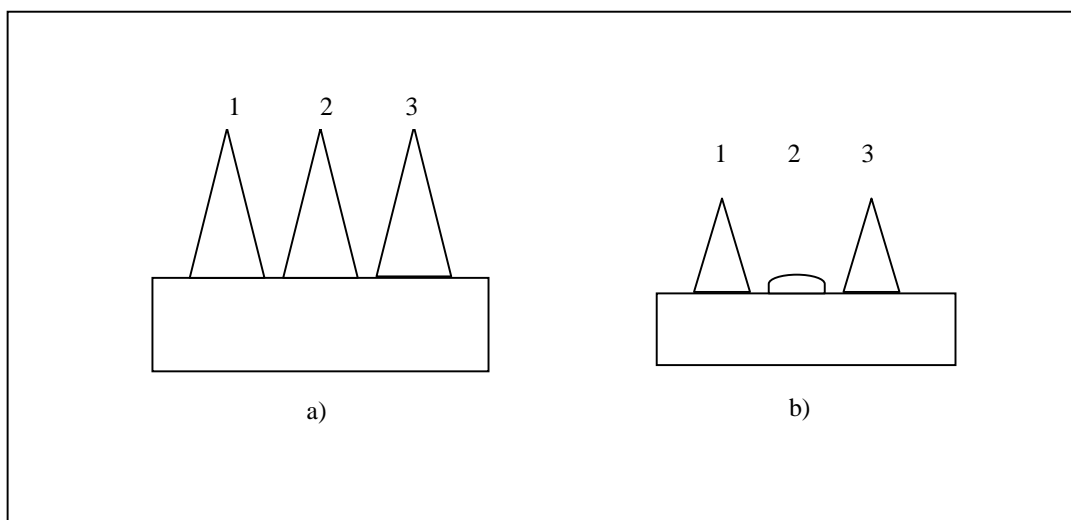




Fig. 1. Conos de fusión: antes de la quema (a) y después de la quema (b). Temperatura 1250°C.

1. Feldespato Holguín, 2. Anfibolita Loma Daguilla, 3. Feldespato chino.

Mediante nuevos ensayos de fusión y de absorción de agua a diferentes temperaturas, entre 1080°C y 1160°C, se confirmó lo antes observado visualmente, descubriéndose, además, que la anfibolita posee un corto intervalo de fusión (sinterización), de apenas 20°C, entre 1140°C y 1160°C (Tab. 2), propiedad que puede ser aprovechada para acelerar el proceso de quema en los hornos de las fábricas de cerámica y lograr una mayor producción y productividad, puesto que se requiere de un mucho menor tiempo para el ablandamiento del fundente.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de absorción de agua y de fusión de la anfibolita Loma Daguilla y del feldespato Holguín

	1080°C				1100°C				1120°C			
	Abs(%)	Estado	Aspecto	Color	Abs. (%)	Estado	Aspecto	Color	Abs(%)	Estado	Aspecto	Color
Anfibolita Daguilla	N.d	No sinterizado	Suelto	Rojo	N.d	No sinterizado	Suelto	Rojo	27,5	Poco sint.	Suelto	Rojo
Feldespato Holguín	47,5	Poco sinterizado	Suelto	Blanco gris	29,5	Poco sinterizado	Suelto	Blanco gris	22,7	Sint.	Suelto	Gris
	1140°C				1160°C							
	Absorción (%)	Estado	Aspecto	Color	Absorción	Estado	Aspecto	Color				
Anfibolita Daguilla	24,75	Poco sinterizado	Suelto	Rojo marrón	0,0	Fundido	Pegado	Violeta				
Feldespato Holguín	2,25	Muy sinterizado	Pegado suavemente	Gris	0,0	Fundido	Pegado	Gris				

N.d = No determinado (muy suelto)

Abs.= Absorción

Sint.= Sinterizado

En la Tabla 2 y en la Figura 2 puede observarse la gran diferencia existente entre la anfibolita y los feldespatos en cuanto al grado de fusión y la amplitud del intervalo en que ésta ocurre.

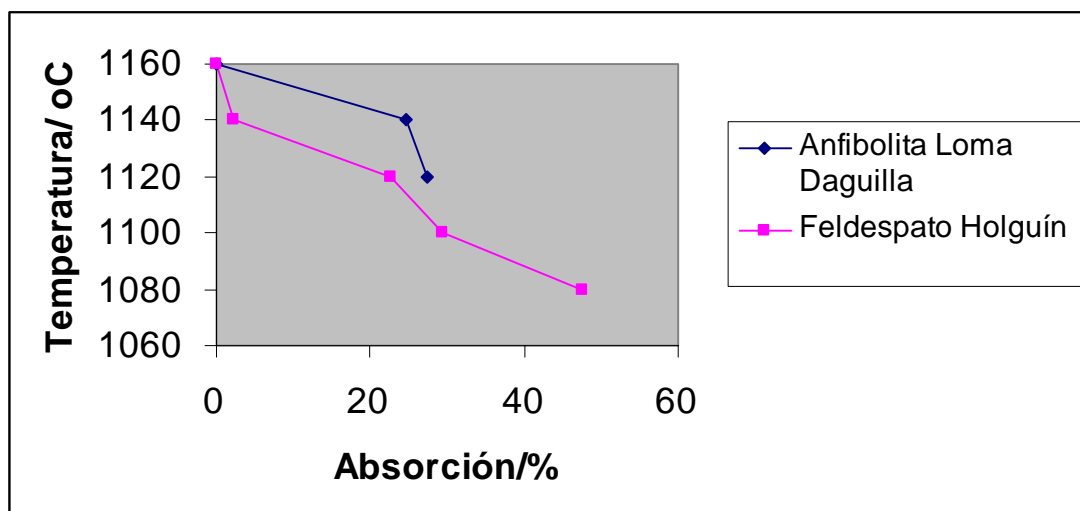


Fig. 2. Diagrama de Temperatura versus Absorción de la Anfibolita Loma Daguilla y el feldespato Holguín.

## COMPOSICIONES Y RESULTADOS DE PASTAS CERAMICAS CON ANFIBOLITA PARA LA FABRICACION DE ARTICULOS DE VAJILLA, SANITARIOS, ORNAMENTO, ETC.

### Composición química de las materias primas empleadas

Además de la anfibolita, las materias primas empleadas en la realización de las pruebas de pasta a escala de laboratorio y a escala industrial, todas de la Isla de la Juventud, fueron las siguientes: caolín gris del yacimiento Río del Callejón, caolín gris del yacimiento Revolución, y arena sílice del yacimiento West Port, cuya composición química se expresa en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición química de las materias primas empleadas en las fórmulas de pastas cerámicas (en % de peso)

	Caolín gris Río del Callejón (levigado)	Caolín gris Revolución tipo II (levigado)	Arena sílice West Port
SiO <sub>2</sub>	52,1	52,2	98,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,5	27,1	< 0,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,7	4,0	0,06
TiO <sub>2</sub>	1,0	0,6	0,24
CaO	0,55	2,3	< 0,02
MgO	0,46	1,4	< 0,10
Na <sub>2</sub> O	1,90	0,3	< 0,10
K <sub>2</sub> O	0,08	0,9	0,08
P.p.i	10,3	10,5	0,55

### Pruebas de laboratorio

Partiendo de las propiedades químicas y físicas conocidas de la anfibolita y de las demás materias primas, se realizaron cálculos de diferentes composiciones prácticas de pastas cerámicas para cerámica de gres (impermeable) y para cerámica de loza (porosa), tanto para vajilla como para artículos ornamentales y sanitarios. El alto poder fundente de la anfibolita se demuestra en que su porcentaje necesario en las fórmulas es muy bajo en comparación con el feldespato, oscilando entre 1 y 11,9%, contra 24-32% aquel. En las Tablas 4 y 5 se muestran varias de estas composiciones prácticas y algunas de sus propiedades, de todo lo cual se sugiere que para temperaturas superiores a 1250°C; es decir, en dirección a la porcelana, la anfibolita puede ser utilizada en porcentajes aun menores que 1, garantizando la impermeabilidad de los



artículos y afectando negativamente menos el color, pudiendo, incluso, obtenerse productos blancos. Cuando se compararon estos resultados con los de pastas hechas con las mismas materias primas, pero feldespatos de importación de calidad (blancos) en lugar de la anfibolita, las diferencias en cuanto al color fueron mínimas.

Tabla 4. Composiciones prácticas de pastas para vajilla de loza, utilizando la anfibolita como fundente. Algunas características tecnológicas

Materias primas	Cerámica tipo loza para vajilla	
	Calidad I	Calidad II
Anfibolita Loma Daguilla	1 %	1 %
Arena sílice West Port	27 %	16,3 %
Caolín gris Río del Callejón	59 %	69,7 %
Caolín gris Revolución II	13 %	13 %
Características		
Temperatura de cocción ( $^{\circ}\text{C}$ )	1180-1250	1250
Absorción de agua (%)	8,06- 4,74	4,27
Contracción total (%)	12,74- 14,16	N.d
Resistencia a la flexión en seco ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	30,12	25,0
Color al quemado	Gris-blanco	Gris-blanco

N.d. = No determinado

Tabla 5. Composiciones prácticas de pastas para vajilla impermeable de gres y otros productos también impermeables, utilizando la anfibolita como fundente. Algunas características tecnológicas

Materias primas	Cerámica tipo gres para vajilla y otras	
	Calidad M-1 (vajilla)	Calidad S-1 (artículos por colaje)
Anfibolita Loma Daguilla	6,54 %	11,90 %
Arena sílice West Port	28,14 %	20,31 %
Caolín gris Río del Callejón	50,32 %	58,23 %
Caolín gris Revolución II	15,00 %	10,00 %
Características		
Temperatura de cocción ( $^{\circ}\text{C}$ )	1200-1250	1200-1250
Absorción de agua (%)	0,05-0,18	0,03-0,16
Contracción total (%)	15,90-17,00	15,40-16,00
Resistencia a la flexión en seco ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	32,00	19,60
Deformación (%)	2,51 ( $1250^{\circ}\text{C}$ )	2,44 ( $1250^{\circ}\text{C}$ )
Coefficiente de dilatación térmica ( $\text{C.D.} \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	1,69 ( $1250^{\circ}\text{C}$ )	1,71 ( $1250^{\circ}\text{C}$ )
Color al quemado	Gris-beige	Gris-beige
Craquelamiento pieza esmaltada	No	No

Las piezas fabricadas (tasas de café) se esmaltaron empíricamente con el esmalte transparente tradicional de las fabricas vajilleras, no observándose incompatibilidad entre pasta y esmalte, ni craquelamiento. El esmalte de fábrica tuvo un coeficiente de dilatación térmica de  $1,95 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

Otra ventaja importante que introduce la anfibolita es que al tener obligatoriamente que formularse pastas con mayor cantidad de caolín que lo normalmente usado (Tabs. 4 y 5), que es de alrededor del 50%, se produce después del horneado una mayor cantidad de mullita, 2 ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ), que es un compuesto de elevada dureza y resistencia mecánica, capaz de compensar lo que se pierde en resistencia por una porosidad inconveniente.

### Prueba de escala industrial

PRIMERA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS 2005.  
Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.



La fórmula de vajilla M-1 (Tab.5) fue llevada con éxito a la escala industrial en la fábrica "II Congreso", de Nueva Gerona, en 1992, utilizando como surtido de prueba el plato hondo de 23 cm de diámetro, por ser el de más compleja obtención al final del proceso productivo. La muestra consistió en la fabricación por torneado mecánico de 2000 de estas piezas, pasando por los departamentos de formación y pulido, decoración y esmalte y, finalmente, por el de cochura, obteniéndose en la clasificación mejores porcentajes de las calidades más altas del producto terminado, que la producción corriente de la fábrica en ese tiempo. Los parámetros tecnológicos estuvieron dentro de lo normal, y el color de la vajilla fue el gris cremoso típico de las producciones de la fábrica.

## OTRAS APLICACIONES CERAMICAS DE LA ANFIBOLITA

Otras aplicaciones cerámicas investigadas fueron los esmaltes coloreados y los pigmentos, obteniéndose igualmente muy buenos resultados. Dichas pruebas se realizaron a escala de laboratorio.

### Esmaltes

Se calculó y aplicó una fórmula para esmalte coloreado, propio para vajilla, sanitarios, aisladores eléctricos, etc., consistente también en la sustitución del feldespato por la anfibolita, lográndose un color crema intenso, con buen nivel de brillo, el cual se obtiene, además, prescindiendo de algunos componentes de importación que se emplean normalmente, como el ZnO. La composición del esmalte logrado se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Composición de esmalte coloreado utilizando la anfibolita como pigmento y fundente a la vez

Materias primas	%
Anfibolita Loma Daguilla	45
Arena sílice West Port	35
CaCO <sub>3</sub> Tapaste	8
Caolín gris Río del Callejón	5
BaCO <sub>3</sub> (importado)	4
Talco (importado)	3
Goma CMC (carbosilmetilcelulosa)	0,0035
Agua	60

Como se ve, la gama de colores posible a obtener utilizando la anfibolita como base pigmentante y fundente a la vez, puede ser muy amplia, en dependencia de la naturaleza de los óxidos metálicos u otros tipos de sustancias que puedan adicionarse.

### Pigmentos

Se realizaron de manera empírica algunas formulaciones de pastas de pigmentos sobre la base de formulaciones tradicionales de la producción corriente, encontrándose que la anfibolita tiene un sinnúmero de aplicaciones en este campo, sobre todo si se mezclara con los óxidos metálicos que tradicionalmente se usan, como el óxido de cobalto, el óxido de cromo, el óxido de cobre, etc. El color de quema violáceo de la anfibolita, correctamente aprovechado con el de tales óxidos, produciría una amplia gama de colores, algunos muy interesantes.



Las pruebas realizadas lo fueron utilizando la anfibolita sin mezcla con óxido alguno, lo cual, indudablemente, atenúa su poder pigmentante, por tratarse de un silicato. A pesar de ello, la mejor fórmula, aplicada sobre el surtido de plato hondo en el detalle de la raya del borde, permitió observar que este carácter se manifiesta luego del quemado de la pieza, pero algo tenue, debido quizás también a que la anfibolita no fue previamente calcinada, lo cual debería hacerse. En la tabla 7 se muestra la mejor fórmula de pigmento obtenida.

Tabla 7. Composición de un pigmento cerámico utilizando la anfibolita Loma Daguilla

Materias primas	%
Anfibolita Loma Daguilla (sin calcinar)	32
Masa cerámica de fábrica	68
Goma CMC	0,10
Agua	60

El color de la raya del borde del plato fue negro-rojizo.

## CONCLUSIONES

La anfibolita de Loma Daguilla, localidad donde existe un macizo con una reserva de decenas de millones de toneladas de la roca, demuestra varios tipos de aplicaciones en la industria cerámica, como es en las pastas para vajilla y otras producciones, en los esmaltes y en los pigmentos. La misma posee un elevado poder fundente, superior al de cualquier tipo de feldespato, razón por la cual se le puede utilizar en fórmulas de pastas cerámicas en pequeños porcentajes, favoreciendo con ello el color al quemado y la formación de una mayor masa de mullita a partir del caolín, con lo cual aumentan la dureza y resistencia mecánica del artículo. En la medida en que el porcentaje de anfibolita utilizado sea menor, a la par de un aumento de la temperatura de cochura más allá de los 1250°C, aumentan las posibilidades de poder obtener una porcelana con este tipo de fundente, es decir, un producto blanco e impermeable.

La anfibolita posee un intervalo de fusión muy pequeño, localizado entre los 1140°C y 1160°C, que ofrece la posibilidad de acelerar grandemente el proceso de quema de artículos cerámicos debido a que requiere un menor tiempo de ablandamiento que otros fundentes cerámicos.

Las pruebas realizadas a escala de laboratorio y de fábrica demostraron la aptitud de la anfibolita de Loma Daguilla en la producción de artículos de loza y de gres para vajilla, sanitarios y ornamento, así como en la producción de esmaltes y pigmentos, campos estos últimos donde la gama de colores que puede obtenerse es numerosa.

## BIBLIOGRAFIA

- Babushkin, V, et al, 1990. Informe de los trabajos de levantamiento geólogo-geofísico a escala 1:50 000 y búsquedas acompañantes en el municipio especial Isla de la Juventud en colaboración con la URSS (CAME). Empresa de geología Pinar del Río, Santa Lucía.
- Furrazola-Bermúdez, G. F, y Nuñez, K, 1997. Estudios sobre Geología de Cuba. CNDIG, IGP, 527p.
- Zharkov, V. N, 1985. Estructura interior de la Tierra y de los planetas. Editorial Mir, Moscú, p.146-154.





## **MINERALES NO METÁLICOS DE LA ISLA DE LA JUVENTUD**

Ing. José T. Córdoba Gómez

*Empresa Geominera Isla, Carretera Gerona Beach, Km 1½, Nueva Gerona, Isla de la Juventud.*

En la Isla de la Juventud son conocidos una serie de minerales no metálicos que por sus características e importancia económica son de vital importancia para el territorio y algunas industrias del país y que potencialmente pueden constituir algunos de ellos importantes fuentes de recursos exportables con su significación económica.

Entre estos minerales se incluyen la amplia gama de tipos de caolines para la industria de la cerámica, refractaria, química y farmacéutica, etc, unos ya en uso y desarrollo y otros en fase investigativa; las materias primas cuarzosa y su gama de uso en la industria metalúrgica cerámica y refractaria. Yacimientos y depósitos de mica moscovíticos de la de la corteza de intemperismo del complejo metamórfico del jurásico, probados en la industria de la pintura, electrodos, sellos asfálticos y tuberías. Los minerales aluminio – silicatos del grupo de la cianita, también relacionado a la corteza de intemperismo del complejo metamórfico Jurásico. Los grandes volúmenes de rocas marmólicas grises y perla y otras rocas no tan decorativas pero también con grandes posibilidades de uso en la industria de materiales de la construcción como enchape para revestimiento en exteriores como los esquistos metamórficos en corteza de intemperismo y las calizas organógenas jóvenes, muy de moda en las construcciones modernas por su bajo costo, durabilidad y ambiente confortable para climas tropicales como el nuestro y zonas adyacentes.



## DEPOSITOS DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES EN CUBA. SUS PRINCIPALES REGULARIDADES ESTRUCTURO – FORMACIONALES Y PERSPECTIVAS

**Rolando Batista González, Jesús Martínez Salcedo, Esther María González Rodríguez, Miguel Ángel García Saborit, Virginia González Acosta, Jorge Luis Torres Zafra, Diana R. Sosa Zayas.**

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril. San Miguel del Padrón. CP 11000. Ciudad de La Habana, 55-7232 / 98-8404. [rolando@igp.minbas.cu](mailto:rolando@igp.minbas.cu)*

### RESUMEN

Se presentan las principales regularidades estructuro - formacionales, con las que se vinculan los depósitos de rocas y minerales industriales en el territorio nacional, debidamente sistematizados y generalizados.

Se conocen depósitos de unas 75 variedades de materias primas no-metálicas que se agrupan en más de 630 yacimientos y 937 manifestaciones.

Existe un predominio de los depósitos de rocas carbonatadas como las calizas, calizas dolomíticas, margas, dolomita calcárea, dolomitas, mármol y calizas marmóreas, además de rocas de origen volcánico como las tobas zeolíticas, basaltos, andesitas y tobas. Le siguen en orden de importancia los depósitos sedimentarios de arcillas, arenas polimícticas, arenas cuarcíferas y bentonita. Estando, además, presentes asphaltitas y bitúmenes, caolines, turba, feldespato, fosforita, barita, cuarcita, granitoides, yeso, calcarenita, granodiorita, gabro, vidrio volcánico, areniscas, cuarzos, magnesitas, micas, paligorskita, sal gema, silicita, wollastonita, asbestos crisotílico y anfibólico, ópalos, granates, jadeíta, grafito, cianita, cuarcitas secundarias, dacitas, diatomitas, anfibolitas, y dioritas. Las **principales perspectivas** se asignan a:

- **calizas y calizas dolomíticas** (amplia distribución, explotación masiva, múltiples usos),
- **arcillas** (amplia distribución, explotación masiva),
- **arenas polimícticas** (amplia distribución, extracción masiva),
- **andesitas** (roca magmática más abundante),
- **asphaltitas y bitúmenes** (múltiples usos, aceptable-buena calidad),
- **tobas zeolíticas** (amplia distribución, alta calidad, múltiples usos),
- **caolines** (buena calidad),
- **arenas cuarcíferas** (alta calidad).

Las perspectivas más limitadas se definen para: **margas, turba, feldespato, fosforita, basalto, bentonita, barita, cuarcita, dolomita calcárea, granitoides, yeso, calcarenita, mármol, granodiorita, dolomita, gabro, vidrio volcánico, areniscas, cuarzos, magnesitas, micas, paligorskita, sal gema, silicita, wollastonita, calizas marmóreas y tobas.**

Como ocurrencias de variable importancia y futuro incierto están: **asbestos crisotílico y anfibólico, ópalos, granates, jadeíta, grafito, cianita, cuarcitas secundarias, dacitas, diatomitas, anfibolitas, y dioritas.**

### ABSTRACT

The main geological and structural regularities are presented, with which deposits of rocks and industrial minerals are linked in the national territory, properly systematized and generalized.

Deposits of some 75 varieties of non-metallic raw material are known that gathered into more than of 630 ore deposits and 937 occurrences.

There prevails deposits of carbonated rocks as limestones, dolomite limestones, mars, dolomite, marble and marbled limestones, besides rocks of volcanic origin as the zeolite, basalts, andesite and tufas. Secondly the sedimentary deposits of clays, polymict sands, silica sands and bentonite. There are also, asphaltite and bitumen, kaolins, peat, feldspar, fosforite, barite, cuarcitea, granitoides, gypsum, calcareous sandstone,



*granodiorita, gabro, volcanic, gritty glass, quartzes, magnesitas, micas, paligorskita, salt gem, silicitas, wollastonita, asbestos chrysotile and amphibol, opals, garnet, jadeite, graphite, cianita, secondary cuarцитas, dacitas, diatomitas, anfíbolitas, and diorite in Cuba.*

The main perspectives are assigned to:

- Limestones and dolomite limestones (wide distribution, massive exploitation, multiple uses)
- clays (wide distribution, massive exploitation),
- polymict sands (wide distribution, massive extraction),
- andesite (more abundant magmatic rocks),
- asphaltite and bitumen (multiple uses, acceptable-good quality),
- zeolites (wide distribution, high quality, multiple uses),
- kaolins (good quality),
- silica sands (high quality).

The most limited perspectives are defined for: *marls, peat, feldspar, fosforite, basalt, bentonite, barite, quartzite, dolomite limestones, granitoides, gypsum, calcareous sandstones, marble, granodiorite, dolomite, gabro, volcanic glass, quartzes, magnesite, micas, paligorskite, salt gem, silicite, wollastonite, metamorphic lime and tuffs.*

As deposits of variable importance and uncertain future are: *asbestos chrysotile and amphibol, opals, garnet, jadeite, graphite, cianite, secondary quartzite, dacite, diatomite, amphibolite, and diorite.*

## INTRODUCCION

Aquí se muestra de una manera resumida las principales regularidades estructurales, formacionales, geológicas y tecnológicas, que presentan los depósitos de rocas y minerales industriales en el archipiélago cubano, debidamente sistematizados y generalizados. Tomado como base el modelo geológico que sobre el origen y evolución del Caribe y Cuba en particular nos da el Doctor Manuel Iturralde-Vinet en el artículo "Sinopsis de La Constitución Geológica de Cuba" en la revista Acta Geológica Hispanica. Volumen 33. (1998). Nº 1-4. pag 9-56.

## DEPÓSITOS DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES EN CUBA Y SUS PRINCIPALES REGULARIDADES ESTRUCTURALES, FORMACIONALES, GEOLÓGICAS Y TECNOLÓGICAS.

El archipiélago cubano es un típico arco de islas volcánico extinto, plegado y continentalizado en el borde meridional de la Placa Norteamericana (Plataforma de Bahamas). Representa una unidad policíclica del desarrollo geotectónico y mineragénico debido a su extrema diversidad litológica y mineralógica, detectándose **dos ciclos tecto-mineragénicos** en las principales estructuras geológicas del país:

I- En el **SUSTRATO PLEGADO**

II- En el **NEOAUTÓCTONO**

Con especificidades temporales para cada Zona Estructuro-Formacional dentro de cada ciclo.

El país se caracteriza por un amplio desarrollo de secuencias volcánicas del Cretácico y del Paleógeno, intruidas por grandes macizos de granitoides, por la presencia de áreas limitadas del basamento pre-Jurásico y por formaciones jurásicas de carácter carbonatado, metamórfico y limitadamente evaporítico. Existen extensos macizos ofiolíticos a modo de cinturón discontinuo. Es típica la escasez de secuencias molasoides, desarrolladas como franjas estrechas y alargadas



y un extenso desarrollo de secuencias carbonatadas del Neógeno y de las rocas y sedimentos Plio-Cuaternarios.

## MINERAGÉNIA DE LAS PRINCIPALES UNIDADES GEOESTRUCTURALES

### SUSTRATO PLEGADO

#### UNIDADES CONTINENTALES

##### MARGENES CONTINENTALES

##### BLOQUE ESTRECHO DE LA FLORIDA

Rocas de edad Jurásico Inferior al Cretácico inferior. Depósitos de yesos y sal gema.

##### MEGAPLAFORMA FLORIDA-BAHAMAS

Rocas sedimentarias y evaporíticas de variadas litologías ( $J_{1-2}$  - $K_2^m$ ). Depósitos de calizas y dolomitas.

##### PLAFORMA BAHAMAS

- Zona de Cayo Coco** (*canal intraplataformico*)
- Zona de Remedios** (*Plataforma externa*)
- Zona de Camajuani** (*talud continental*)
- Macizo** (*terreno*) **de Asunción.**

Rocas sedimentarias en algunos casos metamorizadas en grado variable del Cretácico inferior al superior. Depósitos de calizas, dolomitas, silicitas, asbesto anfibólico, grafito, micas *aplitopegmatíticas* y mármoles.

##### TERRENOS SUDOCCIDENTALES.

###### -**Terreno Guaniguanico.**

- Zonas de los Órganos y Cangre.
- Zonas Rosario Sur y Norte.
- Zona de Quiñones/Guajaibón.

###### -**Terreno Escambray.**

- Secciones metasedimentarias.
- Secciones metavulcanógenas.
- Metaofiolitas Yayabo.

###### -**Terreno Pinos.**

Rocas sedimentarias metamorizadas ( $J_1$  - $K_2^{cn}$ ) en grado variable. Depósitos de cuarzos, calizas, mármoles, silicitas, asbesto anfibólico, grafito, micas *aplitopegmatíticas*, granates, cianita, cuarcitas, barita y talco.

##### UNIDADES OCEÁNICAS ALÓCTONAS

##### TERRENOS DE PLACETAS (CUENCA PROTOCARIBEÑA)

Rocas sedimentarias metamorizadas ( $J_1$  - $K_2^{cn}$ ) en grado variable. Depósitos de cuarzos, calizas, mármoles, silicitas, asbesto anfibólico, grafito, micas *aplitopegmatíticas*, granates, cianita, cuarcitas, barita y talco.



## OFIOLITAS DEL CINTURÓN SEPTENTRIONAL

Rocas ultrabásicas y básicas ( $K_1$ ). Depósitos de jadeíta, gabros, asbestos (crisotílico y anfibólico), serpentinitas, cuarzos y asfaltitas.

## ARCOS VOLCÁNICOS

### ARCOS VOLCÁNICOS CRETACICOS

- **Arco volcánico boninitico** (posible edad pre Albiense).
- **Arco volcánico primitivo (Arco PIA)** (rocas de edad pre-Albiense de la serie PIA).
- **Arco Volcánico Albiense-Campaniense.** Con su complejo vulcanógeno-sedimentario, que se divide en tres cuencas: Cuenca de retroarco, Cuenca axial de arco, Cuenca frontal del arc, y los complejos plutónico y metamórfico.

Depósitos de andesitas, basaltos, granitos, granodioritas, sienitas, riolitas, feldespatos, cuarzos, granate, ágatas-calcedonias, tobas zeolíticas, tobas vítreas, arcillas *hidrotermales*, calizas, grafito, anfibolitas, wollastonita y barita.

### BASAMENTO de los arcos PIA y Albiense-Campaniense.

Rocas volcánicas metamorizadas (Cretácico pre-Neocomiense). Depósitos de feldespatos, granates y anfibolitas.

### CUENCA POSTVOLCÁNICAS Y TRANSPORTADAS (piggy back) Cretacica

Rocas sedimentarias de variadas litologías ( $K_2^{cp-m}-P_1^1$ ). Depósitos de calizas-calcarenitas, margas, tobas zeolíticas y calcedonias.

### ARCO VOLCÁNICO PALEÓGENO

Con su complejo vulcanógeno-sedimentario, que se divide en tres cuencas: Cuenca de retroarco, Cuenca axial de arco, Cuenca Retroarco y los complejos plutónico y metamórfico.

Rocas volcánicas ( $P_1-P_2^2$ ), granitoides ( $P_2^2$ ) y volcano-sedimentarias. Depósitos de calizas, andesitas, basaltos, feldespatos, granitoides, diatomitas, tobas zeolíticas, tobas vítreas, bentonitas *hidrotermales*, arcillas *sedimentarias* y *hidrotermales*, ágatas-calcedonias *sedimentarias* *hidrotermales* y barita.

### CUENCAS DEL ANTEPAÍS

- **Cuenca de antepaís del norte de Cuba.** (Paleoceno- Eoceno Superior)
- **Cuenca de antepaís Guaniguanico.** (Paleoceno- Eoceno Superior)

### CUENCAS POSTVOLCÁNICAS Y TRANSPORTADAS (piggy back)

**Cuencas del primer ciclo** (Campaniense superior al Maatrichtiense-Daniense inferior)

**Cuencas del segundo ciclo** (Daniense superior al Eoceno Superior)

Rocas sedimentarias de variadas litologías. Depósitos de arcillas, areniscas, calcarenitas, calizas y yesos.

## NEOAUTOCTONO

### COBERTURA DEL PALEÓGENO MEDIO-NEÓGENO TARDIO



Rocas sedimentarias de variadas litologías. Depósitos de calizas, margas, arcillas, calcedonias, dolomitas calcáreas, calizas fosfatizadas, magnesita, bentonitas, fosforitas granulares, paligorskita y asfaltitas.

### COBERTURA DEL PLIO- CUATERNARIO.

Rocas sedimentarias de variadas litologías. Depósitos de arenas *aluviales, aluvio-deluviales, aluvio-marinas, dunas y playas fósiles y eluviales sobre granitoides y ofiolitas*, arenas cuarzosas *aluviales, aluvio-deluviales y aluvio-marinas*, arcillas *aluviales, aluvio-deluviales, eluviales a expensas de rocas ofiolitas, metamorfitas, volcano-sedimentarias y carbonatadas*, ágatas, calcedonias *sedimentarias y eluviales sobre ofiolitas*, bentonitas *aluvio-deluviales y sedimentarias*, calizas, caolines *eluviales a expensas de rocas metamórficas*, feldespatos, fosforitas *eluviales sobre rocas carbonatadas*, magnesitas *eluviales sobre ofiolitas*, ópalos *residuales sobre ofiolitas*, turba y ocre *residuales a expensas de basaltos*.

### ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES

No obstante la extrema diversidad litológica y mineralógica y la pertenencia a diversos tipos genéticos, en el territorio se manifiesta cierta persistencia en la aparición de acumulaciones industriales que se repiten en diferentes épocas mineragénicas. Según la abundancia de sus yacimientos y la relevancia económica de su explotación las **11** materias primas más importantes son calizas, calizas dolomíticas, arcillas, arenas polimícticas, rocas magmáticas (principalmente andesitas), tobas zeolíticas, arenas cuarzosas, caolines, margas, dolomita, dolomitas calcáreas, bentonitas y mármoles. Más limitadamente se explotan, feldespatos, fosforitas, yesos, magnesitas, serpentinitas y manifestaciones de variable importancia de piedras semi-preciosas (principalmente calcedonias y ópalos). Se explotan indistintamente más de **291** depósitos, pero los rubros exportables recaen sobre mármoles y calizas recrystalizadas, zeolitas, serpentinita, arenas cuarzosas y productos terminados como carbonato de calcio, cemento y áridos.

Más de la mitad de las principales materias tienen uso práctico, comprobado por la explotación y aprovechamiento del material útil en la economía nacional. El resto abarca rocas y minerales de uso potencial donde algunos se extrajeron y utilizaron a menor escala o se hicieron ensayos de explotación en épocas pasadas (asbesto, barita, cuarzo, mica, sal gema y turba) y otros son de nuevos tipos, recientemente estudiados tecnológicamente, tales como paligorskita, wollastonita, granate, grafito, cianita, cuarcita, silicita y vidrio volcánico (tobas vítreas).

Los 75 tipos de materias primas en la mayoría de los casos se describen individualmente, pero otras se han agrupado según algún parámetro común, tal como composición esencial, tipo petrográfico o tipo genético. Además, las características descritas corresponden a las generalidades detectadas en los depósitos geológicos, pero no los correspondientes a los puntos positivos, no al menos para las materias primas de uso masivo (calizas, andesitas, arcillas, arenas, margas, mármoles, tobas...), pero para las materias que no se corresponden con este grupo sí se tomaron las características generalizadas de sus puntos positivos, a falta de depósitos.

Todos estos depósitos pertenecen a las siguientes **unidades geoestructurales (Zonas Estructuro-Formacionales - ZEF)** principales (Anexos 1 y 2):

### ARCILLAS

#### Arcillas rojas

Se agrupan **222** objetos de los tipos genéticos **sedimentario, residual e hidrotermal**, con edades del **Pre-Cuaternario hasta Plioceno-Cuaternario**.





**Sedimentario**, forman parte de los depósitos aluviales indiferenciados, aluvio-deluviales y aluvio-marinos que comprenden las **ZEF. Cobertura del Plio- Cuaternario**, asociándose a distintas terrazas del cauce inferior de los ríos. De composición montmorillonítica e illítica forman desde capas extensas hasta lentes pequeños interdigitados con arenas y gravas. Potencia útil no mayor de la decena de metros. Su plasticidad de variable a alta requiere de desgrasante para su uso en cerámica roja. También forman parte de las **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío**. Tienen composición predominante montmorillonítica con contenido calcáreo en algunas regiones, forman capas de potencia y extensión estables en las formaciones con predominio pelítico, pero en otras su distribución en el corte es pobre y poco potente. Generalmente tienen buena plasticidad y composición químico-mineralógica para su uso en cerámica y cemento.

**Residuales (lixiviación)**, se asocian a las cortezas de intemperismo desarrolladas sobre las rocas de casi todas las **ZEF. presentes en el Archipiélago Cubano**. Principalmente sobre granitoides, serpentinitas y gabroides. Dando arcillas de composición montmorillonítico-illítica con contenidos variables de caolín, en algunas regiones forman capas y lentes irregulares en potencia y distribución, en dependencia de la intensidad de los procesos hipergénicos, con perdigones y contenido variable de fragmentos de roca madre. La potencia útil oscila en pocos metros. Su alta plasticidad y composición química favorable las hacen aptas para su uso en cerámica y cemento.

**Hidrotermales**, se asocian a las lavas y tobas andesíticas alteradas hidrotermal e hipergénicamente de las **ZEF. de los Arcos Volcanicos Cretácico y Paleógeno**. Composición montmorillonítico-caolinítica con plasticidad media hasta alta. Forman capas irregulares y bolsones con fragmentos de roca madre y nódulos de  $\text{CaCO}_3$  y Fe. Su potencia útil es variable y no excede los 10 m. Son utilizadas en la cerámica.

### Bentonitas

Se conocen 16 objetos de los tipos genéticos **sedimentario y volcano-sedimentario**.

**Sedimentario**, forman parte de los depósitos aluvio-deluviales no diferenciados y aluvio-marinos de la **ZEF. Cobertura del Plio- Cuaternario**. También forman parte de las **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ZEF. Arco Volcánico Paleógeno** y la **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío**. De composición montmorillonítica forman capas en los depósitos aluvio-marinos y lentes en los aluvio-deluviales. Presentan potencias variables pero oscilan de 3-18 m llegando ocasionalmente a 30 m. La alta plasticidad, favorable intercambio catiónico, buena dispersión, granulometría fina y buen hinchamiento, la hace apta para fundición, lodos e impermeabilizante.

**Volcano-sedimentaria**, se asocia a las rocas tobáceas vitroclásticas y cristalovitroclásticas, alteradas por la acción volcano-hidrotermal de baja temperatura, de la **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno**. Tienen composición montmorillonítica y aspecto de arcilloso a compacto-ferroso. Se localizan en mesetas con desarrollo de tobas alteradas formando capas irregulares con potencia útil de 30-40 m. Su plasticidad favorable y capacidad de hinchamiento las hacen aptas para su uso como decolorantes, filtrantes, en cerámica y otros.

### Caolín

Sus tipos genéticos son **residual e hidrotermal**, agrupando 37 objetos.

**Residual (lixiviación)**, se asocia a los depósitos eluvio-deluviales desarrollados a expensas de secuencias metamórficas de las **ZEF. Terrenos Sudoccidentales** y de los granitoides de la **ZEF. Arco Volcánico Cretácico**. Su composición es caolinita con variables contenidos de cuarzo y montmorillonita e impregnaciones de hierro. Forman capas irregulares de potencia útil promedio de 10-20 m o lentes de tamaño variable con potencias de 10 m. En cualquier caso se observan en el corte relictos de la roca madre o lentes de arena cuarzosa, cuarcitas o arcillas rojas.

**Hidrotermal**, se forma a expensas de la alteración de las lavas medias-ácidas de las **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $\text{J}_3^{\text{ox}} - \text{K}_2^{\text{cp}}$ )**. De composición caolinítica con variables contenidos de montmorillonita forma capas alargadas de potencia irregular siendo lo más común lentes irregulares sin lugar determinado en el corte. Ambos tipos genéticos son utilizados en cerámica blanca, y cemento blanco no obstante sus variables parámetros de calidad.

### Ocres

Agrupan 19 objetos desde arcillas ferruginosas hasta ocres *sensu strictu*. Para las arcillas los tipos genéticos son **residual y sedimentario**, mientras que para los ocres son **residual, hidrotermal y antropogénico**.



**Residual (lixiviación)**, arcillas ferruginosas formadas a expensas de las ofiolitas (harzburgitas serpentinizadas) mezcladas entre los depósitos deluvio-proluviales, mientras que los ocre se desarrollan sobre metamorfitas de **ZEF. Terrenos Sudoccidentales** y sobre los basaltos toleíticos y a expensas de las ofiolitas (gabros-diabasas y harzburgitas)., de la **ZEF. Ofiolitas del Cinturón Septentrional**.

En el caso de las arcillas ferruginosas son arcillas lateríticas parcialmente en nódulos y esqueletos con perdigones de hierro y fragmentos de corazas. Se usan como corrector de cemento.

Los ocre son una mezcla de arcillas, hematitas y limonitas con ocasionales concreciones de hierro. Forman capas irregulares con espesor útil de 8 m las que contienen restos destruidos de la roca original. Conforman suaves elevaciones en el terreno. Su granulometría fina y composición los hacen aptos como pigmentos naturales.

**Sedimentario**, arcillas ferruginosas asociadas a depósitos deluvio-proluviales con mínimas mezclas de eluvios de la alteración de las calizas y a la **ZEF. Cobertura del Plio- Cuaternario**. En general los depósitos deluviales son redepósitos de arcillas a modo de lateritas ferruginosas con cantos de *hardpan* y escasos fragmentos de calcedonia, la serie ocasionalmente transiciona a concreciones de hierro, pero el contenido del metal es pobre. Los sedimentos portados por las formaciones son arcillas lateríticas ferruginosas de textura oolítica con espesor de casi 10 m, ricas en perdigones de Fe, siendo el sedimento de caja otras arcillas pardo-amarillentas a abigarradas sobreyaciendo rocas carbonatadas. Uso como corrector en cemento.

**Hidrotermal**, ocre asociados a la **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. (P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub><sup>2</sup>)**, siendo su tipo mineralógico el oligisto, encajado en vetas hidrotermales en las vulcanitas medias del grupo. Uso como pigmento.

**Antropogénico**, ocre de los depósitos artificiales de las colas procedentes del beneficio de las lateritas ferro-niquelíferas de Moa. Uso como pigmento.

### Paligorskita

Su tipo genético es **sedimentario marino**, agrupando 4 objetos que se localizan en la **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío**, dentro de secuencias arcillosas montmorillonítico-magnesiales o margosas. Petrográficamente son paligorskita-pilolitas o lutita-paligorskitas y paligorskitas margosas. Mineralógicamente son una mezcla compacta de paligorskita, dolomita y algo de calcita. Forma lentes de tamaño variable y de varios metros de potencia, asociándose a pequeñas cuencas cercanas al macizo ultrabásico en Pontezuela. Por su blancura, grano fino y propiedades sortivas es útil como tierra filtrante en las industrias de la pintura, licorera y alimenticia.

## ARENAS

### Arenas polimícticas y carbonatadas

Agrupan 125 objetos de génesis **sedimentaria** y **residual**.

**Sedimentarias**, se presentan en los depósitos aluviales no diferenciados asociándose a las diferentes terrazas del cauce medio e inferior de los ríos. Su composición depende de las litologías que corta el río y varía de polimíctica hasta carbonatada. Forman capas variables en potencia y extensión y más comúnmente lentes pequeños poco potentes sin posición fija en el corte e interdigitados o impregnados con arcillas. El tipo sedimentario también forma depósitos marinos de dunas y playas relacionados a costas acumulativas donde forma extensas capas de arenas carbonatadas de grano medio-fino y potencia estable. Además, conforman parte de las formaciones aluvial y aluvio-marino de las **ZEF. Cobertura del Plio- Cuaternario** ocupando grandes cuencas fluviales y terrazas fluvio-marinas. Su composición, en el occidente cubano, es generalmente de tendencia cuarzosa y en el oriente a polimíctica. Los cuerpos son lentes y bancos alargados y estrechos, pequeños, de estructura complicada por arcillas y gravas. Ocasionalmente forman capas homogéneas de potencias estables en las terrazas marinas. Por su granulometría y composición las arenas sedimentarias son utilizadas para áridos y cemento. Se localizan además 3 puntos positivos.

**Residuales (lixiviación)**, están desarrolladas como corteza de intemperismo a expensas de **granitoides del Cretácico y del Paleógeno**. Tienen composición polimíctica, con predominio de feldespatos, plagioclasas, cuarzo y diminutos fragmentos de roca con mezclas disímiles de los minerales antes relacionados. Forman extensas capas de arenas de grano medio fino con potencia promedio de 10 m contaminadas con arcillas, fragmentos y bloques (a veces enormes) de la roca madre. Después de lavadas son usadas como áridos en la construcción.

### Arenas cuarzosas



Se agrupan **49** objetos de génesis **sedimentaria**, encontrándose en los depósitos aluvio-marinos no diferenciados relacionados a terrazas marinas o playas fósiles. Están bien clasificadas, de grano medio-fino, forman capas con potencia útil estable de más de 10 m y pueden estar contaminadas con arcillas y humus. También se asocian a depósitos aluvio-deluviales hallándose en llanuras costeras y valles fluviales formando lentes alargados con potencia menor de 5 m y extensión irregular con frecuentes cambios litofaciales y mala selección granulométrica. Las arenas que conforman las **ZEF. Cobertura del Plio-Cuaternario**, se relacionan a terrazas costeras emergidas y playas fósiles. Tienen grano fino-grueso formando extensas capas o lentes alargados con características estructurales desde tipos aluviales hasta bancos marinos fósiles o sus transiciones. La potencia útil se complica por los contenidos variables de conglomerados polimícticos y arcillas. Las arenas cuarzosas son utilizadas en la producción de vidrio, cerámica, como árido, en la metalurgia y el cemento.

### Arenas cuarzo-feldespáticas

Agrupan **12** objetos de génesis **residual** y **sedimentaria**, con mucha similitud a los depósitos residuales de arenas cuarzosas, pues ambas se generan por el mismo mecanismo genético, pero a expensas de granitoides con mayores o menores contenidos de feldespatos y plagioclasas, de ahí su mayor o menor contenido de feldespato.

**Residuales (lixiviación)**, están desarrolladas como corteza de intemperismo de arenas y gravas amarillentas-carmelitas, arcillosas, a expensas de granitoides del **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ )**, y de sus ocasionales aptitas-pegmatitas. Tienen composición polimíctica, pero con predominio de feldespatos, plagioclasas, cuarzo y diminutos fragmentos de roca con mezclas disímiles de los minerales antes relacionados. Forman extensas capas con contenidos de cuarzo >50% y promedios de  $Al_2O_3$  de 15,18,  $K_2O$  de 1,40% y  $NaO$  de 3,51%, con potencia promedio > 5 m, contaminadas con arcillas, fragmentos y bloques (a veces enormes) de la roca madre. Después de lavadas son usadas como áridos en la construcción, pudiendo servir para la fabricación de vidrio y cemento.

**Sedimentarias**, del tipo aluvial, las arenas forman capas-lentes, inestables tanto en su forma como en la variable potencia, yendo desde muy poco arcillosas y arcillas muy arenosas de grano fino-medio y colores verde y carmelita, el material es alúmeno-silicatado-cuarzoso, estando su contenido de plagioclasa por los 51,81 % lo cual es pobre.

## ASBESTOS

### Asbesto crisotílico

Se agrupan **19** objetos con génesis **hidrotermal**, vinculados a las peridotitas serpentinizadas de la **ZEF. Ofiolitas del Cinturon Septentrional**, que pueden estar o no cortadas por diques de diabasas o gabro-diabasas. Forman vetas de fibras cortas y filones complejos a modo de lentes donde la mineralización está contenida en la masa agrietada de la roca.

### Asbesto anfibólico

Son **9** objetos de génesis **metamorfogénica** que se asocian a las ofiolitas, las **ZEF. Terrenos Sudoccidentales** y **ZEF. Ofiolitas del Cinturon Septentrional**, en relación con los esquistos verdes y cuerpos apointrusivos serpentinizados portados por estas formaciones. Forman vetas de fibras largas con espesor de pocos centímetros asociándose con talco y actinolita en cuerpos de limitado desarrollo. Ambos tipos genéticos son utilizados como aislantes y para asbesto-cemento. Además, se conocen otros 10 puntos positivos asociados.

## ASFALTITAS Y BITÚMENES

Se agrupan **100** objetos (**52** de asphaltita, **18** de asfalto, **15** roca asfáltica y **15** de roca bituminosa) de tipo genético **caustobiolítico**.

### Asphaltitas

Compuestas por grahamita o gibsonita, forman vetas, filones y bolsones de un material duro brillante o blando pastoso, ocasionalmente semilíquido, asociado a zonas de fracturas tectónicas y agrietamiento, en las **ZEF. Colisión. ( $P_1^1 - P_2^2$ )**, **ZEF. Ofiolitas del Cinturon Septentrional** Se presupone que esta asphaltita



sea resultante de la oxidación del petróleo retenido en las rocas durante la migración del mismo. Aptas como aislante, combustible (directo o para obtener gasolina) y en la construcción de carreteras.

### Asfalto

De impregnación o asociado a una surgencia submarina, en ocasiones es semisólido, masivo y con poco brillo, con una potencia de 2.5 m, localizado en las ZEF. **Margen Continental.** ( $J_1$  - $K_2^{cn}$ ). **ZEF. Arco Volcánico Cretácico.** ( $J_3^{ox}$  - $K_2^{cp}$ ), **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno.** ( $P_1$  - $P_2^2$ ), **ZEF. Océánico.** ( $K_1$ ), **ZEF. Colisión.** ( $P_1^1$  - $P_2^2$ ), **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío y ZEF. Platafórmico.** ( $J_{1-2}$  - $K_2^m$ ). Aptas como combustible e impermeabilizante de techo.

### Rocas asfálticas

Se componen de vetillas o constituyen zonas de impregnación en areniscas, calizas, conglomerados o argilitas, distribuidas en las ZEF. **Colisión.** ( $P_1^1$  - $P_2^2$ ), **ZEF. Arco Volcánico Cretácico.** ( $J_3^{ox}$  - $K_2^{cp}$ ), **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío.** Aparecen 3 puntos positivos. Materia apta para obras viales.

### Rocas bituminosas

Conformadas por capas carbonatadas, margas y areniscas, impregnadas de bitumen, en ocasiones aumenta su contenido en las zonas de dislocaciones tectónicas, la potencia útil puede alcanzar hasta los 42 m. Se encuentran en las ZEF. **Margen Continental.** ( $J_1$  - $K_2^{cn}$ ). **ZEF. Arco Volcánico Cretácico.** ( $J_3^{ox}$  - $K_2^{cp}$ ), **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno.** ( $P_1$  - $P_2^2$ ), **ZEF. Océánico.** ( $K_1$ ), **ZEF. Colisión.** ( $P_1^1$  - $P_2^2$ ), **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío y ZEF. Platafórmico.** ( $J_{1-2}$  - $K_2^m$ ). Posible uso en viales y obtención de combustible.

Se reconocen 100 puntos positivos de asfaltita, asfalto y rocas bituminosas.

## BARITA

Agrupan 38 objetos del tipo genético **hidrotermal**, relacionado a las ZEF. **Margen Continental.** ( $J_1$  - $K_2^{cn}$ ). **ZEF. Arco Volcánico Cretácico.** ( $J_3^{ox}$  - $K_2^{cp}$ ), **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno.** ( $P_1$  - $P_2^2$ ). La mineralización es de barita, cuarzo-barita o barita-polimetálicos, asociándose a zonas tectonizadas y agrietadas en aleurolitas, areniscas cuarzosas, cuarcitas, esquistos y rocas volcano-sedimentarias. Forman vetas, nidos, lentes, y bolsones, con dimensiones variables. Como acompañante de los polimetálicos se presenta en ocasiones formando cuerpos independientes. Se usa en medicina, química y lodos. Se localizan 38 puntos positivos en las formaciones precedentes, y además, como tipo sedimentario se señalan en los depósitos aluviales.

## CALCITA

Sólo se conoce 1 depósito y 3 puntos de interés de origen **hidrotermal** en la ZEF. **Margen Continental.** ( $J_1$  - $K_2^{cn}$ ). En realidad esta calcita es del tipo espato color castaño o amarillo claro y la de grano gigante es casi incolora donde sólo las partes superiores de los cristales tienen una banda de color rojizo-castaño de 10-15 cm de grosor, La calcita es de textura asimétrica-bandeada, rítmica-convergente, la estructura es paralela-acicular con diámetro de los granos de 0,4 – 0,6 mm con longitud de 1 - 2 cm. Esta mineralización se localiza en mármol dolomítico de grano fino, generalmente granuloso, con poco bandeamiento de color gris-castaño o en brechas de la misma composición.

## CIANITA

Agrupan 12 objetos de los tipos genéticos **metamorfogénico** y **sedimentario**. Se propone su uso para cerámica especial y fina.

**Metamorfogénico**, la mineralización se encuentra impregnando los esquistos de la ZEF. **Margen Continental.** ( $J_1$  - $K_2^{cn}$ ), formados por un alto grado de metamorfismo tales como cuarzo-cianíticos, clorito-cianíticos, grafitizados o cianíticos. Los cuerpos formados sólo de cianita son raros y de poca potencia. Los



cristales llegan hasta 3 y 4 cm de largo, pero comúnmente son de 0,5-0,7 mm. Presenta potentes cortezas de intemperismo con fragmentos de esquistos monocianíticos y abundante contenido de cianita como sedimento suelto, que en sí mismas forman potentes depósitos. Se localiza 1 punto positivo.

**Sedimentario**, sobre la plataforma marina se han redepositado las cianitas oscuras a negras de las cortezas de intemperismo formadas sobre la serie de esquistos cianito-micáceos, aquí los cuerpos han sido retrabajados por el oleaje marino hasta formar capas de poca potencia y buena clasificación.

## GRAFITO

Son **21** objetos del tipo genético **metamorfogénico**, presente en las **ZEF. Margen Continental. ( $J_1$ - $K_2^{cn}$ )**, **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox}$ - $K_2^{cp}$ )**, De tipo microcristalino forma parte de esquistos grafitizados dentro de secuencias metaterrígenas, con potencia de 10-35 cm y bajo contenido mineral. Se observa también como bandas en gneises, como lentes en esquistos contactando con serpentinitas o como esquistos ricos en magnetita. La potencia útil oscila de 1-12 m. Se propone su uso para metalurgia e industrias varias. En estas formaciones aparecen además 11 puntos positivos.

## GRANATE

Se agrupan **28** objetos en los tipos genéticos **metamorfogénico** y **metasomático**, alguno de los cuales no sólo son de granates, sino también de micas, estando ambas íntimamente ligadas entre sí.

**Metamorfogénico**, en los esquistos granatíferos, cristalinos o calcáreos de las **ZEF. Margen Continental. ( $J_1$ - $K_2^{cn}$ )**, donde forman un paquete hasta de 70 m de potencia, es del tipo espesartita y almandino con altos contenidos de micas, acompañándose además por cuarzo. Existen otros 11 puntos positivos distribuidos en las eclogitas y en las **ZEF. Margen Continental. ( $J_1$ - $K_2^{cn}$ )**.

**Metasomático**, es del tipo skarn granatífero-epidótico acompañado por magnetita, granatífero-actinolítico, piroxénico y wollastonítico. Asociado a las **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox}$ - $K_2^{cp}$ )**, **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. ( $P_1$ - $P_2^2$ )**, y a los **granitoides del Paleógeno**, compuestos del 20-75 % de granate tipo grosularia, almandino, raramente andradita y mica muscovita, para el granate-mica el granate es del tipo espesartita. Además, se conocen 7 puntos positivos.

En general el granate se propone como abrasivo.

## MICA

Sus tipos genéticos son **metamorfogénico** e **hidrotermal**, agrupando **14** objetos, donde el mineral principal es muscovita. Aptas para la industria electrónica, cosméticos, pinturas y construcción.

**Hidrotermal**, se relaciona a esquistos micáceo-cuarzosos greisenizados de la **ZEF. Margen Continental. ( $J_1$ - $K_2^{cn}$ )**, producto de intrusiones plagiograníticas en los esquistos de esta y a los esquistos anfibólicos y serpentinitas esquistosas de las **ZEF. Anfibolítico ( $J_1$ )**. En la **ZEF. Margen Continental. ( $J_1$ - $K_2^{cn}$ )**, forman capas muy mineralizadas o vetas cuarzo-micáceas en las cercanías de la aplita, donde la mica forma cristales con tamaño promedio de 2-5 cm. Presenta potentes cortezas de intemperismo con abundante contenido de mica como sedimento suelto, que de por sí mismas representan acumulaciones importantes. Existen 1 punto positivo.

**Metamorfogénico**, se relaciona con los esquistos micáceos de la **ZEF. Anfibolítico ( $J_1$ )**, donde constituyen parte de los cuerpos de pegmatita granatífera de color blanco amarillento.

Existen sólo 5 puntos positivos de micas del tipo genético **aplito-pegmatítico**, asociados a las pegmatitas ricas en feldespatos de los granitoides cretácicos y a las vetas de pegmatita dentro de **ZEF. Anfibolítico ( $J_1$ )**. Hasta el momento no pasan de ser una curiosidad mineralógica.

## PIEDRAS SEMIPRECIOSAS

Bajo este término se agrupan depósitos de calcedonias, ópalos, xilópalos, ágatas, amatistas, jadeíta y jaspes. En el caso de las acumulaciones de calcedonias, ágatas, amatistas y ópalos, las materias aparecen





mezcladas en mayor o menos proporción, de ahí que sea difícil su descripción como tipos aislados y que para esto se hayan agrupado según el predominio de una materia sobre otra dentro del mismo tipo genético.

### Calcedonia-ágata-amatista-ópalo

Se agrupan **29** objetos de los tipos genéticos **hidrotermal**, **sedimentario** y **residual**.

**Hidrotermal**, encajan en las **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ )**, **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. ( $P_1 - P_2^2$ )**, **ZEF. Colisión. ( $P_1^1 - P_2^2$ )**, y las **ofiolitas** ("cachalonga"), formando vetas, lentes, nidos y amígdalas de calcedonias, ópalos, ágatas y amatistas en compañía de cuarzo, vinculadas a andesitas, dacitas, aglomerados basálticos y ocasionalmente calizasaporcelanadas.

**Sedimentario**, se hallan en las **ZEF. Cobertura del Plio- Cuaternario** y **ZEF. Platafórmico. ( $J_{1-2} - K_2^m$ )**. Son cantos rodados que llegan a formar conglomerados con otras rocas silíceas o se presentan en una matriz terrígeno-conglomerática vinculándose a terrazas fósiles. Existen 2 puntos positivos en los depósitos aluviales.

**Residuales (lixiviación e infiltración)**, se forman a expensas de la meteorización-lixiviación de las ofiolitas, quedando como bloques, peñascos y fragmentos de disímiles dimensiones de calcedonia sobre los restos arcillo-arenosos hasta rocosos de la serpentinita alterada y otras por infiltración formando vetas en las propias serpentinitas. En general las calcedonias tienen color del gris al verdoso y rojo. Se localiza 1 punto positivo como eluvio sobre vulcanitas.

### Opalos y ópalo-calcedonia

Son **16** objetos de origen, **residual** e **hidrotermal**.

**Residual (infiltración y lixiviación)**, formados durante el intemperismo por la lixiviación de las serpentinitas cretácicas y de diferentes vulcanitas, mientras que el tipo de infiltración sólo está asociado a las ofiolitas. En las serpentinitas los sistemas de pequeñas vetas (infiltración) ocupan grandes extensiones, pero también aparecen (lixiviación) como bloques, cuerpos irregulares y fragmentos en cimas y pendientes montañosas de los macizos ofiolíticos. Tienen color del verde al naranja y a veces negro. Los depósitos en vulcanitas son los restos de concentraciones de amígdalas rellenas de ópalos ahumados hasta gris-azulados en lavas andesíticas con más de 5 m de espesor.

**Hidrotermal**, en brechas de la **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ )**, a modo de vetas, nidos, lentes y nódulos de ópalos y calcedonias de colores claros, violeta y azulosos donde las vetas tienen espesor de hasta 1 m, donde aparecen pequeños nidos y lentes de calcedonia dentro de las calizas crema claro, que constituyen la colina. Los lentes de sílice son concordantes con los estratos de calizas y todo parece indicar deposición hidrotermal asociada a una cercana actividad volcano-sedimentaria. Existen 2 puntos positivos entre las **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. ( $P_1 - P_2^2$ )**, **ZEF. Colisión. ( $P_1^1 - P_2^2$ )**.

### Xilópalo

Existe sólo 1 depósito de origen **sedimentario** asociado a los aluvios de los arroyos actuales. Xilópalo y ópalo a partir de metasomatismo silíceo de los árboles (guano prieto, palma cana, corajo, coco, palma barrigona, palma real, guásima, helechos arborescentes...) en los sedimentos. Conservan la estructura fibrosa, colores amarillo claro y carmelitoso con tonalidades violetas. Son fragmentos sueltos de 1 - 3 m de longitud y 40 cm de diámetro. La edad de estos ejemplares fósiles es del **Pleistoceno**.

### Jadeíta

Con génesis **metamorfogénica** se asocia 1 objeto a rocas jadeíticas apointrusivas que forman una masa monomineral de agregados radiales, compacta, masiva y de grano fino, yaciendo con mármoles y rocas carbonatadas esquistosas de la **ZEF. Margen Continental. ( $J_1 - K_2^{cn}$ )**.

### Jaspes

Se agrupan **2** objetos de génesis **volcano-sedimentaria** asociándose a secuencias tobáceas de carácter medio, así como restringida a algunas capas de calizas de la **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. ( $P_1 - P_2^2$ )**, donde sobreyace a rocas tobáceas. Se conocen con el popular término de **bayates**. En todo caso son cuerpos, de lentiformes a nidos, de cuarzo criptocristalino de color marrón - marrón rojizo, con longitudes promedios de 10 m y potencia de 2-10 m. Se asocian a la misma actividad hidrotermal que dió origen a los depósitos de óxidos de Mn con los cuales guardan estrecha relación.

En general las piedras semipreciosas se utilizan en joyería y artesanía.





## ROCAS CARBONATADAS

### Calizas y calizas dolomíticas

Son 349 objetos que componen parte de las formaciones carbonatadas que participan de mayoría de las estructuras cubanas y en proporción variable en las volcano-sedimentarias tales como las **ZEF. Arco Volcánico Cretácico**. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ ). Su composición es calcítica con variables contenidos de dolomita. Litológicamente representan tipos tales como organógenas, biotriticas, pelitomórficas, margosas, tobáceas y brechas, entre otras. Forman capas masivas en formaciones con amplio desarrollo carbonatado, pero en otras regiones pueden estar estratificadas con variado ritmo y potencia junto a otras litologías. Afectadas en grado variable por intemperismo, agrietamiento, tectónica, recristalización y dolomitización. Se asocian a cuencas, macizos, terrazas, mogotes y olistolitos.

### Calcarenitas

Son 24 objetos de conglomerados, gravelitas calcáreas y areniscas, en las **ZEF. Arco Volcánico Cretácico**. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ ), **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío**, que forman capas potentes con algunas vetillas de calcita interestratificadas con otras litologías estériles, todo el conjunto está muy tectonizado en grado variable. Otro tipo son las biocalcarenitas, porosas, color crema- pardo, compactas, masivas, granulometría gruesa, con presencia de carso, aptas para filtros de agua.

### Conglomerados polimícticos

Se reconocen 2 objetos ubicados en las **ZEF. Arco Volcánico Cretácico**. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ ). En un caso se halla como depósitos de conglomerados sobre una potente secuencia de esquistos verdes, la roca útil es una capa-lente de conglobrecha, constituida por cantos-fragmentos de calizas, mármoles, serpentinitas, esquistos y anfibolitas. En el otro caso son capas de conglomerados polimícticos a conglomerados tobáceos de la secuencia inferior.

### Dolomita y dolomita calcárea

Se agrupan 24 objetos ubicados en las **ZEF. Platafórmico**. ( $J_{1-2} - K_2^m$ ), y **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío**, formando mogotes aislados o en cadenas. Su composición dolomítica es predominante en algunas regiones, pero varía en otras debido al irregular proceso de dolomitización. Forman cuerpos masivos, gruesos, en capas extensas y potentes, generalmente carsificadas y agrietadas. Las dolomitas calcáreas forman terrenos llanos a colinosos, en capas de potencia variable con interestratificaciones estériles de rocas blandas o de otra composición, afectadas por el carso y la alteración hipergénica.

### Margas

Son 19 objetos que participan de las **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío**, **ZEF. Colisión**. ( $P_1^1 - P_2^2$ ), **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno** ( $P_1 - P_2^2$ ), **ZEF. Cuenca Superpuesta Oriental**. ( $P_2^3 - P_3^1$ ). Son rocas derivadas de la mezcla de calcita y montmorillonita tales como margas arcillosas, calcáreas y calizas margosas. Forman capas masivas o estratificadas con sus propios tipos litológicos u otros estériles. De plasticidad variable a poca pueden presentar dolomitización. Útiles en cerámica roja y cemento. Existen 17 puntos positivos.

### Magnesita

Presentan 11 objetos de los tipos genéticos **residual** y **sedimentario**.

**Residual (infiltración)**, formado por alteración de serpentinitas ocupando la base de las cortezas debido al mecanismo de infiltración. Forma cuerpos irregulares, lentes, nidos, vetas y nódulos. El contenido de MgO es alto y presenta hidróxido de hierro.

**Sedimentario**, vinculado a las series arcillosas de la **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío**, donde forma grandes y potentes masas irregulares horizontales que yacen a variable profundidad. Contiene mezclas arcillosas presentando un aspecto general conglomerático o brechoso. Ocupan cuencas fluviales amplias y llanas. Se usan para fertilizantes y se estudian para metalurgia.



### Mármol

De origen **metamorfogénico**, se vinculan 11 objetos a la **ZEF. Margen Continental. ( $J_1 - K_2^{cn}$ )**. Su composición varía de calcítica a dolomítica con grano promedio de grueso a muy grueso. Forman mogotes conjuntamente con algunos esquistos, pero en otras regiones solo son lentes intercalados en capas de calizas o areniscas. Existen calizas marmóreas de la **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno ( $P_1 - P_2^2$ )**, recrystalizadas hidrotermalmente, de composición calcítica, formando capas con potencias industriales y que también son incorrectamente consideradas como "mármoles".

En general las rocas carbonatadas son empleadas para áridos, incluyendo las calcarenitas, pero también en el cemento (caliza y marga), agricultura (magnesita y dolomita) y decorativa (mármol y caliza).

## ROCA FELDESPÁTICA

Son **32** objetos de los tipos genéticos **aplito-pegmatítico, extrusivo, intrusivo e hidrotermal**, todos aptos para la cerámica blanca.

**Aplito-pegmatítico**, relacionado a la **ZEF. Anfibolítico ( $J_1$ ) y a los granitoides cretácicos**. La composición es cuarzo-feldespática (albita-oligoclasa o microclina-ortosa). Forman diques, vetas o lentes suficientemente grandes encajados en anfibolitas y granitoides. Se mantiene una clara dependencia tectónica y relación con los granitoides cretácicos, asociándose sobre todo a su exocontacto. Existen además 5 puntos positivos en estas secuencias.

**Extrusivo**, se vincula a los cuerpos de lavas liparítico-dacíticas de la **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno ( $P_1 - P_2^2$ )**. La roca feldespática está reblandecida, deleznable, con alteraciones hidrotermales, mezclándose con arcillas y caolín. El álcali es sódico y no es constante en el corte..

**Intrusivo**, en granitoides, se desarrollan en las rocas magmáticas leucocráticas, sienitas horbléndicas y secuencia de pirofilitas, caolinita, cuarzo y micaceo-cuarzo- caolinitica, de los granitoides cretácicos. Existen 8 puntos positivos.

**Hidrotermal**, se desarrolla en metasomatitas de la **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ )**, de color gris claro.

Además, existe solo un punto positivo, **Residual (lixiviación)**, a modo de eluvio sobre granitoides cretácicos.

## ROCA FOSFATADA

### Fosforita

Son **6** objetos de génesis **residual y sedimentario**.

**Residual (lixiviación)**, formadas por la meteorización de la **ZEF. Colisión. ( $P_1^1 - P_2^2$ )**. Son del tipo silíceo-arcilloso con variables contenidos de fluor-apatito. Forman estratos, con más de 40 m de espesor, de una masa amorfa mezclada con arcillas y material fosfático en concentración de hasta un 25%, asociada a la destrucción de la matriz terrígena de los depósitos caóticos policomponentes, portadora de la fosfatización, pero en otros casos es a expensas de calizas fragmentario-detriticas, formando una terrarrosa blanda y ocrosa con algunos pedernales y calcedonias. En relieve semejan como pequeños mogotes. Se usan como fertilizantes. Existen 3 puntos positivos sobre calizas arrecifales del cuaternario los que al estar en los cayos pudieran ser mezclas de fluidos del guano de aves con las calizas de la unidad.

**Sedimentario**, fosforitas granulares calcáreas, constituidas fundamentalmente por rocas que van desde areniscas hasta calcarenitas, color amarillento-carmelita, se localizan en calcarenitas con matriz carbonatada, de grano fino a grueso, muy porosas, y en arcillas pardo-amarillento, muy plástica, muy fosfatizadas y asociadas a la matriz terrígena de los depósitos caóticos policomponentes de la **ZEF. Cobertura del Paleógeno Medio- Neógeno Tardío**.

### Calizas fosfatadas

Presentes **6** objetos de origen **sedimentario** en las **ZEF. Coberturas del Paleógeno Medio-neógeno Tardío**. La variable fosfatización de las fosforitas granulares se asocia a calizas fosfatizadas y calcarenitas llegando hasta conglomerados, formando grandes y potentes depósitos, también forma pequeños e irregulares cuerpos en calizas organógenas. Además, también se ven acumulaciones de arcillas fosfatizadas relacionadas con algunas litologías calcáreas. La mineralización oscila de 1-19%. Se usan como fertilizantes. Además, se localizan 11 puntos positivos.



## ROCAS MAGMÁTICAS

### Granitoides

Vinculados **20** objetos a los **intrusivos** cretácicos y eocénicos y **2** a los **extrusivos**.

**Intrusivos**, agrupan granitos (**13**), granodioritas (**5**), dioritas (**1**) y sienitas (**1**). De la **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ )**, y **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. ( $P_1 - P_2^2$ )**. Su composición general es cuarzo, plagioclasas y biotita, mientras los tipos sieníticos contienen además feldespatos y anfíboles. Sus enormes cuerpos forman llanuras con suaves colinas tectonizadas y meteorizadas, con potentes cortezas arenosas. También forman macizos montañosos o están como bloques exóticos incluidos en serpentinitas a modo de cerros aislados, pero también pueden ser diques de granodioritas entre sienitas o de carácter porfídico entre los macizos de granitos o atravesando capas de lavas y tobas. Presentan buenas propiedades físico-mecánicas y suficiente potencia útil, para ser utilizados como áridos de trituración y rocas decorativas.

**Extrusivos**, son riolitas, a modo de pequeños cuerpos de lavas porfídicas, masivas, duras, compactas, elevados del terreno en medio de una llanura, con potencia de más de 10 m, con buenas propiedades físico-mecánicas, pero tectonizadas en grado variable.

### Gabros y troctolitas

Vinculados **15** objetos a los macizos ultrabásicos de la **ZEF. Océánico. ( $K_1$ )**. Compuesto de plagioclasa labrador, piroxenos y anfíboles. Son grandes cuerpos a modo de peñascos formando colinas en regiones peniplanizadas como relictos de antiguas cortezas de intemperismo o cuerpos pequeños y alargados entre masas de serpentinitas. Son rocas tectonizadas, serpentinizadas en grado variable y meteorizadas, formando cortezas de variable potencia. La potencia útil con buenas propiedades físico-mecánicas se estima en más de 10 m. Además, se localizan 7 puntos positivos.

### Andesitas

Representados **34** objetos en las **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ )**, **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. ( $P_1 - P_2^2$ )**, rocas andesíticas compuestas por plagioclasas (andesina y oligoclasa), anfíboles y epidota. Forman mantos de lavas masivas, lavabrechas, cuerpos subvolcánicos o diques, muchas veces con relaciones complicadas, con tobas y aglomerados, en zonas llanas a colinosas. están tectonizadas y alteradas con huellas de pelitización, cloritización, albitización y otras. Presentan suficiente potencia industrial y propiedades mecánicas de variables a buenas. A esto se añade 1 punto positivo.

### Basalto

Asociados **8** objetos a las formaciones **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ )**, y a cuerpos de traquibasaltos del **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. ( $P_1 - P_2^2$ )**, aflorado entre las areniscas mas jóvenes. Son cuerpos subvolcánicos, duros, de grano medio, que forman grandes macizos o pequeños cuerpos de relieve suavemente ondulado a colinoso. Se hallan tectonizados, agrietados y meteorizados, dando una cobertura arcillosa irregular quedando aún suficiente potencia útil de roca fresca. Sus propiedades físico-mecánicas son aceptables. Existe 1 punto positivo.

### Dacita

Solo 1 objeto vinculado a la **ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox} - K_2^{cp}$ )**, relacionándose a cuerpos subvolcánicos y a coladas lávicas andesito-dacíticas. Forman cuerpos variables, de grandes volúmenes, pero con muy escasa altura sobre el terreno. La roca está tectonizada y meteorizada llegando la afectación hasta más de 10 m de profundidad.

### Diabasa

Sólo **1** objeto perteneciente a la **ZEF. Océánico. ( $K_1$ )**, como cuerpo subvolcánico de reducidas dimensiones y limitado volumen de diabasas porfídicas, compactas, masivas, de grano medio, que están afectadas en grado variable por el agrietamiento y la meteorización. Su potencia y propiedades mecánicas son favorables a la industria.



En general las rocas magmáticas son empleadas como áridos de trituración y en el caso de algunos granitoides y gabro-troctolias como roca decorativa.

## ROCAS Y MINERALES SILÍCEOS

### Arenisca

Presentes 12 objetos en las ZEF. Colisión. ( $P_1^1$ - $P_2^2$ ), ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. ( $P_1$ - $P_2^2$ ), ZEF. Cobertura del paleógeno Medio-Neógeno Tardío, ZEF. Cuenca Superpuesta Basal. ( $K_2^{cp-m}$ - $P_1^1$ ), ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox}$ - $K_2^{cp}$ ), ZEF. Cuenca Superpuesta Oriental. ( $P_2^3$ - $P_3^1$ ), y ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. ( $P_1$ - $P_2^2$ ). Es una roca sedimentaria de composición cuarzo-feldespática, tipo grawaca, de grano fino a grueso y cemento arcilloso. Forman capas con suficiente potencia industrial que se alternan con aleurolitas y argilitas calcáreo-margosas de aspecto general flyshoide. Se explotan como áridos de trituración y corrector de sílice para el cemento. Se localizan 5 puntos positivos.

### Cuarcita

Son 14 objetos de los tipos genéticos *metamórfogénico* e *hidrotermal*.

**Metamórfogénico**, se vincula a la ZEF. Margen Continental. ( $J_1$ - $K_2^{cn}$ ). Son rocas cristalinas compuestas por granos muy finos de calcedonia o cristobalita-tridimita. Forman una gran franja de potentes lentes con variables dimensiones, tectonizados e intercalados con otras rocas metamórficas que contactan tectónicamente con mogotes calcáreos, formando en conjunto un gran nappe. Se destacan por su morfología elevada y alargada. Son aptas para metalurgia.

**Hidrotermal** son cuarcitas secundarias formadas a expensas de rocas volcánicas andesíticas y andesito-dacíticas de la ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox}$ - $K_2^{cp}$ ). Asociadas a antiguas chimeneas y focos volcánicos, así como a las rupturas y sus hidrotermas. Exhiben zonalidad mineralógica espacial muy irregular mezclándose las facies monocuárcicas, andalucítica, diaspórica, alunítica y pirofiliticas, entre otras. Forman grandes colinas. Su uso propuesto es para cerámica y metalurgia.

### Cuarzo

Son 62 objetos de génesis *hidrotermal* y *metamórfogénico*. **Hidrotermal**, presentes en ZEF. Ofiolitas del Cinturon Septentrional, ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ( $J_3^{ox}$ - $K_2^{cp}$ ), ZEF. Anfibolítico ( $J_1$ ), y en las rocas ultramáficas serpentinizadas. La mineralización se presenta en vetas de tipo alpino, irregulares y fracturadas, y en vetas asociadas a procesos magmáticos o como lentes y cuerpos de tamaño variado de estructura interna compleja. Esta mineralización yace en secuencias metamórficas, terrígenas o asociadas a pegmatitas en forma de cuarzo lechoso con ocasionales drusas del tipo hialino. Las rocas encajantes forman colinas o bloques sobre el terreno. El cuarzo también se halla relacionado a rocas volcánicas metasomatizadas por la intrusión de granitoides, mezclándose con hematitas y otros óxidos metálicos. Se pudieran aplicar en el vidrio, la óptica y la electrónica. Aparte esto se hayan 10 puntos. **Metamórfogénico**, asociados a rocas cuarzo - anfibolíticas y esquistos de diferente composición de las ZEF. Margenes Continentales y ZEF. Ofiolitas del Cinturon Septentrional. El cuarzo es de color lechoso, transparente o semitransparente y granulometría variable, con predominio del grano grueso, agrietado. A ello se añaden 1 punto positivo..

Representado solo por 19 puntos positivos, asociados a zonas intemperizadas de las serpentinitas se haya el tipo genético **residual (infiltración)**.

### Diatomita

Solo 1 objeto de roca sedimentaria compuesta por la acumulación de algas diatomáceas formando escasas capas de diatomitas asociadas a secuencias calcáreo-terrágeno-marinas y tobáceo-cineríticas ácidas, donde existió abundante sílice disuelta en el agua de mar. Son capas blanco-amarillentas de diatomitas, tobáceo-diatomíticas y tobáceo-calcáreo diatomíticas de la ZEF. Arco Volcánico Paleógeno. Rocas porosas, ligeras y buenas propiedades físicas preliminares para su uso en filtrantes, química, industria alimenticia y construcción. Hay otros dos puntos positivos.

### Silicita



Está representada por 3 objetos en las **ZEF. Margenes Continentales**, como roca sedimentaria compuesta de cuarzo y calcedonia, formando finos estratos interestratificados con arcillas ferruginosas o a modo de láminas con herrumbre. La roca es dura, bandeada y ocasionalmente porosa, alternándose con margas, areniscas y argilitas. Todo el conjunto está intensamente plegado y triturado. Se propone su uso como fundente para la metalurgia del cobre. Existen 2 puntos positivos en la formación **ZEF. Cuencas de antepaís**.

### **Vidrio volcánico**

Del tipo **magmático extrusivo** se hallan 2 objetos en las **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno y ZEF. Arco Volcánico Cretácico**, vinculado a lavas poco ácidas con incipiente grado de cristalización o a lavas fragmentadas, aunque puede aparecer mezclado con tobas vítreas. Sus cuerpos son de poca extensión y potencia.. Dos puntos de interés se presentan en las formaciones. Además, existen otros dos puntos del tipo **volcano-sedimentario**.

## **SAL GEMA Y YESO**

### **Sal Gema**

Se ubican 3 objetos en la secuencia inferior salina de la **ZEF. Margenes Continentales**. Su composición es halítica con ínfimos contenidos de MgCl. Es una brecha de fragmentos de caliza dolomítica, anhidrita, dolomita y lutita, en una matriz de sal granuda, donde predomina la matriz. Forma el corte inferior de un enorme diapiro de brechas de yeso y sal donde la sal gema con potentísimo espesor industrial y bajo el nivel del terreno infrayace la secuencia yesífera. Aptas para la industria química y en el consumo humano.

### **Yeso**

Son 7 objetos que se hallan dentro de la **ZEF. Margenes Continentales y ZEF. Cuenca postvolcánicas y transportadas, (piggy back)**. Como brecha policomponente con predominio de matriz yesífera sobreyace transitivamente, con potentes espesores de variados tipos litológicos, a las brechas salinas en la estructura diapírica. Forman un conjunto de elevaciones tectonizadas y meteorizadas irregularmente. En otras regiones el yeso forma lentes en brechas emplazadas tectónicamente entre serpentinitas y areniscas. Además, en otras localidades forman capas de potencia variable entre margas y calizas, yaciendo con sus relaciones estratigráficas originales. Los yesos son utilizados para cemento y algún caso excepcional en medicina.

## **SERPENTINITA Y ANFIBOLITA**

### **Serpentinita**

Asociados 7 objetos a los grandes macizos ultrabásicos cretácicos y a los cuerpos de tamaño variables de serpentinitas prejurásicas de **ZEF. Ofiolitas del Cinturon Septentrional**. Son del tipo antigorítico, de textura fibroso-escamosa o entrelazada, las cuales forman bloques, de enormes a medianos, dentro de macizos serpentiniticos lizardito-crisotílicos en zonas tectonizadas o cuerpos subconcordantes en esquistos metaterígenos o calcáreos, donde se presentan como rocas compactas, macizas y de textura esquistosa o brechosa. Forman cerros aislados o lomas alargadas. Estas serpentinitas son utilizadas con fines decorativos. Además, existen 16 puntos positivos.

### **Anfibolita**

Son 7 objetos presentes en las rocas de las **ZEF. Arco Volcánico Cretácico y ZEF. Basamento de los arcos PIA y Albiense-Campaniense**. Están compuestos por anfíbol y pocas plagioclasas. Son rocas derivadas del metamorfismo regional de rocas volcánicas básicas. Forman colinas a modo de cuerpos aislados de considerable distribución territorial y potencia, pudiéndose hallar también como potentes paquetes o intercalaciones en esquistos cristalinos o gneises. Por sus buenas propiedades mecánicas se propone usar como áridos y algunos sectores para decorativo. Además existen 4 puntos positivos vinculados a las ofiolitas.

## **TOBAS**





### **Tobas**

Son **10** objetos de rocas **volcano-sedimentarias**, asociados a las rocas de las **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno y ZEF. Arco Volcánico Cretácico. ZEF. Cuenca postvolcánicas y transportadas, (piggy back)**. Representados por tobas de composición media- básica, en capas de diferentes tipos litológicos y con potencia variable, con una granulometría que va desde fina hasta gruesa, de colores gris claro y verdoso con diferentes tonalidades. Yacen conjuntamente con areniscas tobáceas, arcillas y aleurolitas. Existen, además, 40 puntos positivos.

### **Tobas vítreas**

Representada por **9** objetos, de origen **volcano-sedimentario**, son tobas de composición ácida y media, grises o cremosas, muy porosas, predominan las tobas de grano fino y medio, en ocasiones algo alteradas a montmorillonita, o a carbonato, e interestratificadas con calizas silicificadas, asociados a las rocas de las **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno y ZEF. Arco Volcánico Cretácico**. Existen unos 70 puntos positivos.

### **Tobas zeolíticas**

Se agrupan **50** objetos de rocas **volcano-sedimentarias** distribuidas en las **ZEF. Arco Volcánico Paleógeno y Cretácico, ZEF. Cuencas postvolcánicas y transportadas, (piggy back) y ZEF. Cuencas de antepaís**. Tienen composición predominante mordenítica-clinoptilítica con variables contenidos de celadonita, montmorillonita y cuarzo, predominando en algunas regiones la mordenita y en otras la clinoptilolita. Son rocas vitroclásticas y cristalovitroclásticas, ligeras, porosas y masivas, presentándose en el perfil sin inclusiones con otras rocas o con alternancia de areniscas, tufitas y conglomerados o sobrecorridos por lavas. La zeolitización es irregular promediando 70% y en ocasiones más. Sus cuerpos son en capas de hasta centenares de metros de potencia alcanzando gran desarrollo territorial. Se utilizan en agropecuaria, cemento y múltiples usos exigentes. Existen otros 35 puntos positivos.

## **TALCO**

De origen **hidrotermal**, son 13 objetos vinculados a las rocas de la **ZEF. Margenes Continentales y ZEF. Ofiolitas del Cinturon Septentrional**. La mineralización talcosa participa en la composición de esquistos clorítico-talcosos, clorito-anfibolíticos y sericiticos-talcosos, los cuales han incluido serpentinitas, las cuales son los protolitos (obliterados en grado variable) de los lentes, bandas y bolsones de talco, estos tienen potencia y dimensiones irregulares, asociándose al contacto entre esquistos verdes y metaterígenos o cercanos al contacto con rocas carbonatadas. Por otro lado en ciertos sectores de los propios macizos serpentiniticos (incluso en cuerpos incluidos en *melanges*) sometidos a la acción hidrotermal tienen vetillas y hasta cuerpos de talco blanco-verdoso. Se proponen usar para el papel, la pintura y los cosméticos. Se localizan otros 48 puntos positivos.

## **TURBA**

De origen **caustobiolítico** se asocian **6** objetos a los depósitos palustre-parálcos de la **ZEF. Cobertura del Plio-Cuaternario**, no consolidados desarrollados en ambientes lagunar y costero. Tienen variada textura con gran desarrollo territorial y potencia general de 10-12 m. Se hallan mezclados con arcillas turbáceas, limos, sapropel, arenas y otros. El subyacente es en general rocas carbonatadas carsificadas. Se utiliza principalmente en la agricultura, pero podría aprovecharse como fuente energética.

## **VERMICULITA**

Sólo 1 objeto de origen **hidrotermal**, en el contacto entre bloques de rocas micáceas (pegmatitas) y ultramafitas serpentinizadas incluidas en secuencias de esquistos anfibólicos o en cuerpos de rocas micáceas (esquistos) de la **ZEF. Basamento de los arcos PIA y Albiense-Campaniense**, incluidas dentro de los macizos de serpentinitas, ambos vinculadas a zonas muy afectadas tectónicamente, donde las micas muscovita y biotita se hidratan y transforman en agregados de biotitas y vermiculitas verde-negruzcas a modo de bandas de inestable y escasa potencia. Mineralización alterada y en general se acompañan de cloritas. Buena expansibilidad ante el tratamiento térmico. Además, existe solo un punto positivo asociado a las ofiolitas.





Dentro de la ofiolitas existe otro punto positivo de vermiculita, pero **metamorfogénica (metasomática)**, al estar asociado a un bloque exótico de esquistos micáceos, subordinadamente caolinita, cuarzo y plagioclasa, el cual fue trasladado y ubicado en su posición actual con el emplazamiento del macizo ultrabásico.

## WOLLASTONITA

Hay 1 objeto de origen **metasomático de contacto** del Cretácico. Son rocas de **skarn** wollastonítico-granatífero asociadas a calizas intravulcanógenas marmóreas y skarnificadas de la **ZEF. Arco Volcánico Cretácico**, como consecuencia de la intrusión de un macizo de granitoides cretácicos. Forma potentes bandas de mármoles-skarn con variables contenidos de wollastonita y granates, según las bandas en cuestión. Alternan con basaltos skarnificados. El contenido de wollastonita en la roca es del 60-70 %. Por sus características químicas el mineral se puede utilizar en la industria cerámica (bujías y azulejos) y en la fabricación de plásticos y pinturas, entre otros. Existe 1 punto positivo.

## PERSPECTIVAS Y CONSIDERACIONES FINALES

Está claro que la base de los recursos de rocas y minerales industriales de Cuba, visto como depósitos geológicos se ha elevado no sólo en número de individuos, sino también en el monto del volumen de sus recursos y reservas totales y que es grande el potencial teórico para los mismos al considerar las premisas basadas en las principales leyes geólogo-mineragénicas que rigen su formación y distribución en las unidades geo-estructurales cubanas.

La evaluación de las perspectivas de estas rocas y minerales se puede considerar en dependencia del factor específico que se aplique para ello, o en un conjunto de ellos. En ese sentido se establecen perspectivas sólo para las materias predominantes sobre la base de criterios tales como; la persistencia en la formación de depósitos de interés en diferentes épocas mineralogénicas y su distribución en el territorio, la cantidad de áreas pronosticadas de las mismas, la cantidad de yacimientos explotados, las reservas existentes y con posibilidad de incremento y la adecuada evaluación tecnológica de sus depósitos, entre otras.

Las **principales perspectivas** se asignan a:

**calizas y calizas dolomíticas** (amplia distribución, explotación masiva, múltiples usos),  
**arcillas** (amplia distribución, explotación masiva),  
**arenas polimícticas** (amplia distribución, extracción masiva),  
**andesitas** (roca magmática más abundante),  
**asfaltitas y bitúmenes** (múltiples usos, aceptable-buena calidad),  
**tobas zeolíticas** (amplia distribución, alta calidad, múltiples usos),  
**caolines** (buena calidad),  
**arenas cuarcíferas** (alta calidad).

Las **perspectivas más limitadas** se definen, aleatoriamente, por el escaso volumen de sus depósitos, condiciones minero-técnicas desfavorables, calidad tecnológica variable, poca distribución en el territorio nacional, restringidos yacimientos, explotaciones temporales o inexistentes y escasas áreas perspectivas. Aquí se agrupan; **margas, turba, feldespato, fosforita, basalto, bentonita, barita, cuarcita, dolomita calcárea, granitoides, yeso, calcarenita, mármol, granodiorita, dolomita, gabro, vidrio volcánico, areniscas, cuarzos, magnesitas, micas, paligorskita, sal gema, silicita, wollastonita, calizas marmóreas y tobas.**

Como manifestaciones de **variable importancia y futuro incierto** debido a sus escasos estudios geólogo-tecnológicos, explotaciones temporales sin estudios previos o inexistentes, muy pocos volúmenes de recursos y carácter local de sus depósitos, se indica a; **asbestos crisotílico y anfibólico, ópalos, granates, jadeíta, grafito, cianita, cuarcitas secundarias, dacitas, diatomitas, anfibolitas, y dioritas.**

Esta situación en un futuro no muy lejano se podría revertir si se categorizan correctamente los depósitos estudiados, si se elevara el grado de estudio de las manifestaciones, si se diversificasen los usos de las



materias primas con un adecuado estudio tecnológico, si se descubrieran nuevos procesos o técnicas de beneficio y sobre todo si se estableciera una industria cubana procesadora de rocas y minerales industriales que ofertara productos terminados, con mucho valor agregado, y no sólo materias primas crudas semi-procesadas, como hasta la fecha se viene realizando.

En el país existen otros depósitos que se explotan de manera informal para trabajos locales de buen gusto e ingeniosidad, tales como calizas, areniscas, serpentinitas y otras rocas que se emplean como lozas naturales bastas para revestimientos de paredes, taludes y pisos, con gran aceptación en construcciones de viviendas personales y sociales. También se extraen otros para la reparación y construcción de viales.

## BIBLIOGRAFIA

- Batista González R. et al. 2003. Mapa de Rocas y Minerales Industriales de Cuba. Escala 1: 100 000
- Batista González R. et al. 2000. Sistema Informativo para los Recursos Minerales de Cuba. "INFOYAC". (actualizado hasta 2004).
- Balance de reservas. 2002. ONRM de Cuba.
- Clasificación de los recursos y reservas de minerales útiles sólidos. 1999. ONRM de Cuba.
- Coutin Correa D.P et al. 1988 . Mapa de yacimientos y manifestaciones minerales no metálicos y combustibles de la República Cuba 1:500 000.
- Coutin Correa D.P et al. 1992 . Mapa mineragenico y pronostico de Cuba 1:500 000. (inedito).
- Iturralde-Vinet M.A. 1998. Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. En Eds. Melgarejo. J.C. y Proenza. J.A. Acta Geológica Hispanica. V.33 (1998).nº 1-4. p. 9-56.
- Lavandero R. et al. 1988. Mapa de yacimientos y manifestaciones minerales metálicos y aguas minerales República de Cuba 1:500 000.
- Ley Sobre la protección del medio ambiente, No 81 1997.
- Ley de Protección del Medio Ambiente y Uso Racional de los Recursos Naturales, No 33, 1981.
- Ley de Minas. No 76, 1995.
- Ley para la Inversión Extranjera, No 77. 1995.



## PRONOSTICO DE DEPOSITOS DE ARENA Y GRAVA A PARTIR DE LA INFORMACIÓN DE POZOS EN EL SECTOR LA FE-CORTES.

**Raydel Toirac Proenza<sup>(1)</sup>, MSc. Elmidio Estévez Cruz<sup>(1)</sup>, Ing. Yusleiby Girbert Llanes<sup>(2)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Universidad de Pinar del Río, Martí # 270, Pinar del Río. CP: 20100, E-mail: felicio@geo.upr.edu.cu.

<sup>(2)</sup> ENIA Pinar del Río, Calle Rafael Morales Alto Sur # 242, Pinar del Río.

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el pronóstico de áreas favorables para la ocurrencia de depósitos de arena y grava en la llanura "La Fe-Cortés". El trabajo permitió delimitar aquellas zonas que por sus características granulométricas pueden ser empleados como materia prima para la construcción. En el área se han realizado pronósticos anteriores los cuales han confirmado su potencialidad pero no discriminan entre las arenas de granulometría media - gruesa y la fina, para darle solución a esta problemática es que en este trabajo se incorpora la información brindada por los pozos de prospección existentes en el área de estudio.

Toda la información de pozos de carácter regional vinculada con la prospección de arena fue recopilada y convertida en formato digital. Las bases de datos creadas fueron revisadas y depuradas para eliminar todos los posibles errores. El análisis estructural se realizó con el objetivo de caracterizar la variabilidad espacial de las distintas variables (arena fina y arena media-gruesa) y seleccionar correctamente los parámetros empleados en la estimación del modelo de recurso.

Se confeccionó un modelo geológico único el cual delimita toda el área estudiada y a partir de este se generó el modelo de recurso (modelo de bloques), posteriormente se estimó la probabilidad de ocurrencia de arena media-gruesa (M) y arena fina (F) en cada uno de los bloques del modelo. El modelo de bloque fue cortado en perfiles cada 400m y por niveles cada 1m, los perfiles y planos fueron interpretados lo que permitió definir las zonas favorables para la ocurrencia de este tipo de depósito. El grado de favorabilidad de las distintas áreas fue asignado sobre la base de la probabilidad estimada, la extensión y profundidad.

El trabajo permitió confirmar el potencial de la llanura para alojar este tipo de depósito y se revelaron 7 áreas favorables en las cuales deben concentrarse los futuros trabajos de investigación geológica

### ABSTRACT

This work aims at revealing favorable areas for the occurrence of sands and gravel deposits in the plain "La Fe-Cortés". The work allowed to define those zones that can be used as building material based on their granulometric characteristics. Previous works of mineral potential mapping developed in the area confirmed its favorability but does not discriminate between medium - coarse grained sand and fine grained one. In order to give solution to this problem the information provided by prospecting drill holes are incorporated to this work.

All the drillhole information of regional character linked with the prospecting of sand deposits was gathered and transformed into digital format. The created databases were revised and purified to eliminate all the possible errors. The structural analysis was carried out with the objective of characterizing the spatial variability of the different parameters (fine grained sand and medium-coarse grained sand) and to correctly select the parameters used in the estimation of the resource model.

An unique geologic model outlining the whole studied area was created and from this the resource model was generated (block model), later on the probability of occurrence of medium-coarse grained sand (M) and fine grained sand (F) was estimated in each blocks of the resource model. The block model was cut



in E-W sections each 400m and horizontal plans every 1m, the profiles and plans were interpreted to define the favourable areas for the occurrence of this deposit type. The degree of favourability of the different areas was assigned based on of estimated probability, the extension and depth.

The work allowed confirming the potential of the plain to host this type of deposit and 7 favourable areas were revealed in which the future geological works should be concentrated.

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de materia prima (grava y arena) para la industria de la construcción a un costo razonable es un factor de vital importancia para el desarrollo de la economía nacional. En la medida que los suministros actuales se van agotando nuevas fuentes tienen que ser encontradas. Para garantizar el flujo continuo de estas materias primas se requiere por un lado planificar el uso racional de las fuentes existentes y por otro conocer la distribución espacial y la calidad de las posibles áreas potenciales que en un futuro cercano pueden llegar a constituir las fuentes de abastecimientos de dichas materias primas.

En la provincia de Pinar del Río existe un déficit de arena para la construcción, esta situación se ha visto agravada por los daños a las viviendas e instalaciones provocados por el paso de los ciclones Lili e Isidore y recientemente Charlie e Iván. Es por eso que contar con una evaluación de la favorabilidad de la llanura sur para hospedar yacimientos de grava y arena es de primordial importancia para planificar el desarrollo futuro de esta región del país.

El área escogida para este fin se ubica en el extremo más occidental de la provincia (Llanura La Fe-Cortés) y en ella se localiza un grupo de yacimientos de arena cuarzosa. Estos yacimientos han sido previamente explorados y evaluados principalmente para vidrio y como materia prima para la construcción en menor medida. Actualmente las arenas de los yacimientos ESBEC 19 SW y San Ubaldo se explotan para su empleo como árido.

El resultado final del trabajo lo constituye un mapa pronóstico donde se señalan las áreas más perspectivas y los niveles o grados de favorabilidad de cada una.

Desde el punto de vista geológico, la provincia de Pinar del Río puede ser dividida en 3 terrenos tectono estratigráficos: Guaniguanico, Bahía Honda y San Diego de los Baños. El área de estudio se localiza en el terreno San Diego de los Baños y abarca un sector de la llanura sur de la provincia de Pinar del Río. El área de relieve llano no presenta gran complejidad geológica y es bañado por diversas corrientes fluviales en cuyos valles se han acumulado depósitos areno-arcillosos. Las rocas que afloran poseen una edad que va desde el Oligoceno superior hasta el reciente. Entre las principales formaciones descritas en el área tenemos: Formación Paso Real (Oligoceno Superior – Mioceno Superior Basal), Formación Guane (Plioceno Superior – Pleistoceno Inferior), Formación Guevara (Pleistoceno Inferior Medio) y depósitos del cuaternario actual (Q<sub>iv</sub>) (Hernández,1999).

Existe consenso entre los especialistas acerca del origen aluvial deltaico de los yacimientos anteriormente descritos (Kukla,1966; Freire, 1968; Freire,1978; Freire, 1981). Los depósitos se han formado a partir de los detritos silíceos procedentes de la erosión de las rocas cuarzosas de la Fm. San Cayetano acarreados por los cursos anteriores de los ríos .

Los cuerpos de arena se acumularon en las zonas bajas del litoral, adoptando la forma de capas sedimentarias típicas del delta. Posteriormente sufrieran la acción de los agentes



exógenos y del mar y finalmente se manifestó la influencia de los movimientos tectónicos y seculares en los niveles de las terrazas emergidas.

## METODOLOGÍA

La metodología empleado en este trabajo consta de las siguientes etapas:

### Información de partida.

Para la ejecución de este trabajo se empleó la información de los 239 pozos en una red de 800 x 800 m perforados durante los trabajos de prospección realizados en el área. Los pozos fueron ubicados en 13 perfiles de orientación E-O con un total de 823 muestras. (Freire, L. y Pelaez, R. 1981).

### Codificación y confección de la base de datos.

Toda la descripción geológica de cada pozo fue reanalizada y codificada considerando 2 aspectos fundamentales

1. Granulometría.
2. Color.

Para la granulometría se establecieron las siguientes categorías:

S – Capa vegetal.

F – Arena de grano fino.

M – Arena de grano medio - grueso.

AAr – Arena arcillosa.

Ar – Arcilla.

Atendiendo al color se determinaron los siguientes grupos:

Amarillo – a.

Crema – c.

Carmelita – ca.

Blanco – b.

Beige – be.

Rojo – r.

Negro – n.

Gris – g.

De esta manera todas las muestras de cada uno de los pozos obtuvieron su codificación correspondiente. Un ejemplo de cómo se realizó la codificación se muestra en la Tabla I.

Tabla I - Codificación del Pozo 0021.

Desde (m)	Hasta (m)	Descripción	Código
0.00	0.10	Suelo color carmelita rojizo	Scar
0.10	0.40	Arena fina color gris	Fg
0.40	0.60	Arena amarilla con gravilla	Ma

Una vez terminado este proceso se procedió a crear la base de datos del área de estudio. Desde el mismo comienzo, toda la información de prospección fue introducida en Excel y



organizada en tres tablas. La primera tabla (Dcollar) contiene la información sobre las coordenadas de los pozos, en la segunda (Dsample) se recoge todo lo referente a los análisis realizados, la litología de las muestras y la codificación asignada, mientras que la última tabla (Dsurvey) recoge todos los datos sobre la orientación espacial de los pozos (inclinometría). Posteriormente esta información se importa a Access donde se generó la base de datos relacional en formato compatible con las características específicas del software empleado MicroLYNX 6.0.

### Transformación Booleana.

Para poder realizar el tratamiento geoestadístico de los datos la información codificada fue transformada en variables booleanas. Con este fin se crearon las siguientes variables indicatrices: M, F y AAr. Si el código de la muestra se corresponde con arena de granulometría media a gruesa entonces la variable M toma valor 1 en todos los demás casos se le asigna el valor 0 (Tabla II). Si el código se corresponde con arena fina entonces la variable F toma valor 1, en caso contrario se le asigna el valor 0. El mismo procedimiento se empleó para la variable AAr (arena arcillosa). Las nuevas variables creadas se procesaron con el objetivo de establecer la probabilidad de ocurrencia de arena con granulometría media gruesa en el modelo de bloques.

Tabla II. Asignación de los valores a las variables indicatrices M y F.

Pozo	Desde (m)	Hasta (m)	Descripción	Código	M	F
0021	0.00	0.10	Suelo color carmelita rojizo	Scar	0	0
0021	0.10	0.40	Arena fina color gris	Fg	0	1
0021	0.40	0.60	Arena amarilla con gravilla	Ma	1	0

### Variografía.

El análisis estructural o Variografía se realizó para investigar y cuantificar la variabilidad espacial las variables indicatrices en el sector de estudio. El variograma es la herramienta geoestadística más importante en la determinación de las características de variabilidad espacial del fenómeno estudiado, es decir tener conocimiento de cómo la variable cambia de una localización a otra, se define, como la media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados a una distancia  $h$ .

El estudio se inició con el cálculo de los variogramas experimentales (isotrópico y direccionales), posteriormente el análisis de anisotropía y por último, en los casos posibles, el ajuste de los modelos teóricos que describen la continuidad espacial de los parámetros estudiados.

Para la estimación y modelación de los variogramas fue emplea el software Geostat.

### Modelo Geológico.

El objetivo de este paso es crear un modelo geométrico tridimensional del yacimiento, que representen la posición y la forma de las distintas unidades geológicas presentes en el área. El modelo geológico 3D se emplea para aplicar el control geológico al modelo de bloque.

El modelo geológico se generó a partir de la digitalización de los perfiles en la pantalla de la computadora (método de los perfiles o perímetros). El modelo geológico creado envuelve toda la zona explorada en la llanura La Fe - Cortes.





### Modelo de bloques y estimación.

El modelo de bloque consiste en una serie de bloques (voxels) regulares, apilados en tres dimensiones que abarcan un volumen en el espacio. El tamaño del bloque debe reflejar el tamaño de la unidad de selección minera a ser usada, además debe ser lo suficientemente pequeña para permitir la definición exacta de la forma del cuerpo. Como el objetivo del trabajo no es la estimación de recursos sino el pronóstico se seleccionó un tamaño de bloque de 400m x 400m x 0.5m. Una vez definido el modelo se procedió a estimar en cada bloque el valor de la variable estudiada. Para realizar la estimación espacial se empleó la técnica de kriging indicador

El kriging indicador no es más que el kriging ordinario (simple) de los indicadores calculados en los distintos cutoff o valores umbrales (Isaaks, 1989). Para realizar la transformación de los valores originales se emplea una función indicatriz que convierte los valores originales en ceros y unos. En nuestro caso como trabajamos con una variable cualitativa la función para la transformación fue la siguiente

$$i(x,z) = \begin{cases} 1, & \text{if } z(x) = \text{código} \\ 0, & \text{if } z(x) \neq \text{código} \end{cases}$$

Donde, si el valor de la variable es igual que el código se le asigna el valor 1, en caso contrario su valor es 0.

El kriging de indicadores es un proceso que se inserta dentro del formalismo de indicadores. Éste deriva en una función espacial que, básicamente, mapea eventos. Estos eventos pueden ser numéricos (leyes, contenidos, otros) o categóricos (presencia o ausencia de un tipo de roca o mineralización). Así se puede estimar o simular la geometría de poblaciones conjuntas o leyes y contenidos de una mineralización seleccionada (Tulcanaza, 2000).

### Confección del mapa pronóstico a partir de la información de pozos.

A partir del modelo de bloques creado se construyeron perfiles y planos en los cuales se representa la variable estimada (M) en cada uno de los bloques. Los perfiles construidos se hicieron coincidir con los perfiles de prospección del yacimiento, mientras que los planos se trazaron por niveles de 0.5m.

Sobre la base de los perfiles y planos se escogieron las zonas más favorables para la ocurrencia de depósitos de arena con granulometría media –gruesa. Para esto se seleccionaron aquellos bloques que poseen mayor probabilidad y que además se localizan cerca de la superficie.

### Integración y análisis.

Las zonas reveladas fueron digitalizadas e importadas en ILWIS. El mapa obtenido fue superpuesto con el obtenido por Joao, 2003 y se seleccionaron aquellos sectores donde coinciden espacialmente ambos mapas. Posteriormente las áreas fueron categorizadas en distintos niveles de favorabilidad en dependencia de la profundidad de yacencia de los bloques



y la probabilidad de ocurrencia de arena de grano medio grueso. De esta forma fue confeccionado el mapa pronóstico final que incorpora la información referente a los pozos de prospección.

## PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN E INTEGRACIÓN DE LOS RESULTADOS

### Análisis exploratorio de datos.

Esta etapa comenzó con el estudio de la distribución espacial que poseen los pozos en los cuales se reveló algún indicio de arena de granulometría media gruesa. Con este objetivo se construyó un mapa de ubicación donde se muestra todos los pozos con arena media a gruesa (M). (Figura 1).

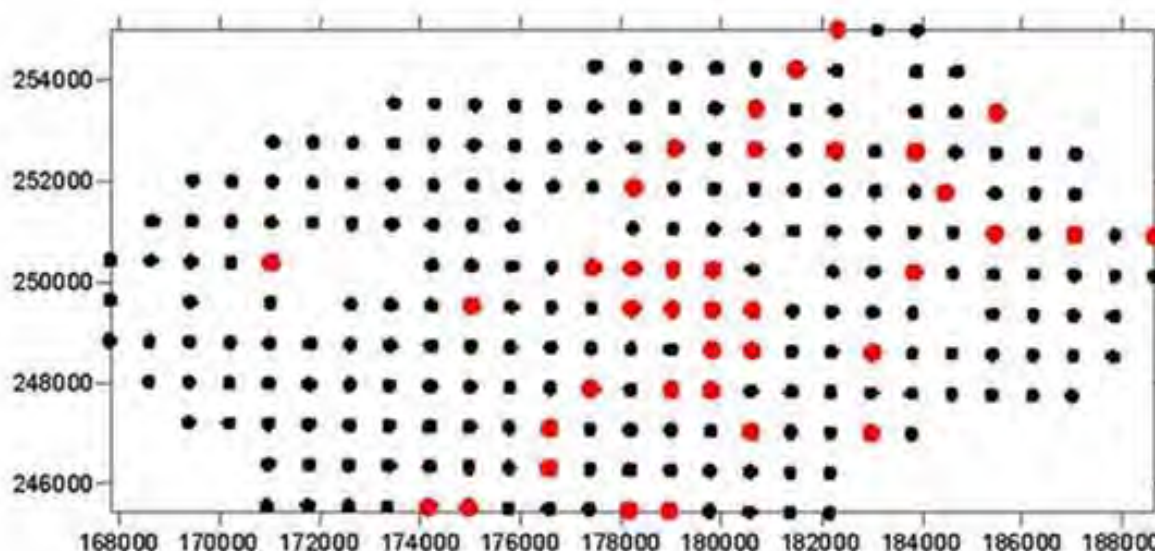


Figura 1. Mapa de ubicación de los pozos con muestras de composición media – gruesa (M).

Se pudo observar que las muestras positivas (M) no poseen una distribución aleatoria sino que aparecen formando grupos o sectores dentro de toda el área de la llanura. En sentido general las muestras positivas están localizadas hacia la parte más oriental con una orientación NE - SW.

Para poder valorar cuantitativamente si en realidad las muestras forman grupos o por el contrario poseen una distribución aleatoria o regular se procedió al cálculo de 2 estadígrafos de la estadística de vecinos más cercanos (Tabla III).

La tabla muestra que para el caso del estadígrafo (vecino más cercano reflexivo) las muestras de primer orden poseen una distribución regular, lo cual es obvio si consideramos que los pozos se ubican en una red regular de 800x800m. Sin embargo para vecinos de otros ordenes la distribución en sentido general es agrupada.

Tabla III. Estadística de los vecinos más cercanos. a) vecino más cercano reflexivo b) distancia a los vecinos más cercanos:

<b>A) Reflexive Nearest Neighbours</b>		
<b>Order</b>	<b>Observed values</b>	<b>Asumed with CSR</b>



1	24.00	23.62 (regular o CSR)
2	10.00	12.51 (clustered)
3	6.00	9.24 (clustered)
4	10.00	7.66 (regular)
5	2.00	6.69 (clustered)
6	4.00	6.01 (clustered)
<b>B) Distance to Nearest Neighbours</b>		
<b>Order</b>	<b>Observed values</b>	<b>Asumed with CSR</b>
1	1162.29	1051.81 (regular)
2	1617.84	1577.72 (regular)
3	1943.50	1972.15 (clustered)
4	2178.42	2300.74 (clustered)
5	2496.31	2588.52 (clustered)
6	2740.35	2847.26 (clustered)

Para el estadígrafo “distancia al vecino más cercano” el comportamiento es muy similar, para los vecinos de primer y segundo orden la distribución es regular mientras que para el resto es agrupado. Estos resultados permiten suponer que las muestras con arena gruesa o media constituyen sectores o zonas dentro de la llanura y no muestras aisladas.

Posteriormente se superpuso el mapa pronóstico obtenido por Joao, 2003 y el mapa de pozos con muestras favorables para corroborar si existe coincidencia espacial entre los mismos. Se pudo observar que los pozos con muestras M se ubican en las zonas que fueron reveladas como “Muy Favorables” en el trabajo antes mencionado.

### Variografía.

Los variogramas experimentales para las variables M, F y AAr fueron calculados en 4 direcciones principales: N-S 0°, NE-SW 45°, E-W 90°, NW-SE 135°. También fue estimado el variograma isotrópico u omnidireccional. Para las direcciones N-S y E-W que coinciden aproximadamente con los perfiles de prospección se empleó un paso de 800 m mientras que en la direcciones intermedias se paso utilizado fue de 1130m.

En el caso de la variable M, que es la que realmente posee interés para el pronóstico, el variograma revela una clara estructura espacial de la variabilidad con un rango de aproximadamente 1600m. En los gráficos obtenidos existen 2 rasgos que llaman la atención, primero el variograma en la dirección 45° NE-SW muestra mayor continuidad espacial que el calculado en las otras direcciones mientras que el variograma estimado en la dirección ortogonal 135° NW –SE posee un comportamiento muy parecido al efecto hueco (ondulatorio) lo cual puede ser interpretado como la repetición de la secuencia a lo largo de esta dirección.

Estos resultados concuerdan muy bien con las ideas anteriormente establecidas por otros autores donde se considera que los yacimientos de arena se formaron a lo largo de playas o terrazas marinas paralelas al antiguo litoral. Esas franjas o bandas coinciden aproximadamente con la dirección de menor variabilidad 45° NE-SW.

Las variables F y AAr, aunque no poseen importancia para el pronóstico, fueron también analizadas. Los variogramas muestran una estructura espacial con alcance muy similar al anterior pero poseen un efecto pepita considerablemente mayor que la variable M.



A los variogramas calculados se les ajusto un modelo teórico que será empleado posteriormente durante la estimación de la probabilidad de ocurrencia de depósitos de arena gruesa media en el modelo de bloque. Los modelos ajustados a cada variable se muestran en la Tabla IV.

Tabla IV. Modelos teóricos ajustados a los variogramas experimentales de las distintas variables.

Modelo teórico ajustado	Variable
$\gamma(h) = 0.018 + 0.032 \text{ sph}(1650)$	M
$\gamma(h) = 0.21 + 0.032 \text{ sph}(1200)$	F
$\gamma(h) = 0.114 + 0.11 \text{ sph}(1350)$	AAr

### Modelo de Bloque.

Este modelo se diseñó de forma tal que ocupara toda el área explorada de la Llanura la Fe – Cortés. Las dimensiones del bloque se escogieron teniendo en cuenta el objetivo de estudio, la red de investigación existente y el tamaño medio de las muestras (400x400x0.5).

El bloque llave se situó en el extremo inferior izquierdo del área y posee las siguientes coordenadas:

X: 167200 m Y: 244800 m Z: -6m

Una vez generado el modelo de bloque se procedió a estimar la variable M en cada uno de los bloques del modelo empleando el Kriging indicador como interpolador espacial.

Para la estimación se empleó una vecindad de búsqueda con las siguientes características:

- Radio de búsqueda: 4000 m
- Número máximo de muestras: 12
- Número mínimo de muestras: 4
- Número de sectores: 1

### Construcción de los perfiles y planos.

El modelo de bloque fue cortado en perfiles cada 800 m coincidiendo con las secciones de prospección (E – W), también se hicieron los planos de niveles separados cada 1 metro.

En todos estos perfiles y planos se representó la variable M estimada que indica la probabilidad de ocurrencia de depósitos de arena de granulometría media – gruesa en cada uno de los bloques de 400x400x0.5 m.

Una vez elaborado los perfiles y planos se pasó a seleccionar y contornear las áreas más favorables, las cuales se escogieron teniendo en cuenta tres aspectos fundamentales:

- Tamaño del sector.
- Potencia de la capa de los sedimentos que lo sobreyace.
- Probabilidad de ocurrencia de depósitos de arena de grano medio grueso.

Las áreas seleccionadas se proyectaron a la superficie, se contornearon y digitalizaron. Los sectores revelados fueron importados en un SIG (ILWIS 3.2) y superpuestos en el mapa pronóstico obtenido por Joao, 2003 a partir del procesamiento de información satelital, geológica y geomorfológica.



Los sectores fueron categorizados en 3 nivel de favorabilidad atendiendo a los factores anteriormente considerados y la coincidencia espacial con las áreas catalogadas como muy favorables en el mapa obtenido por Joao, 2003.

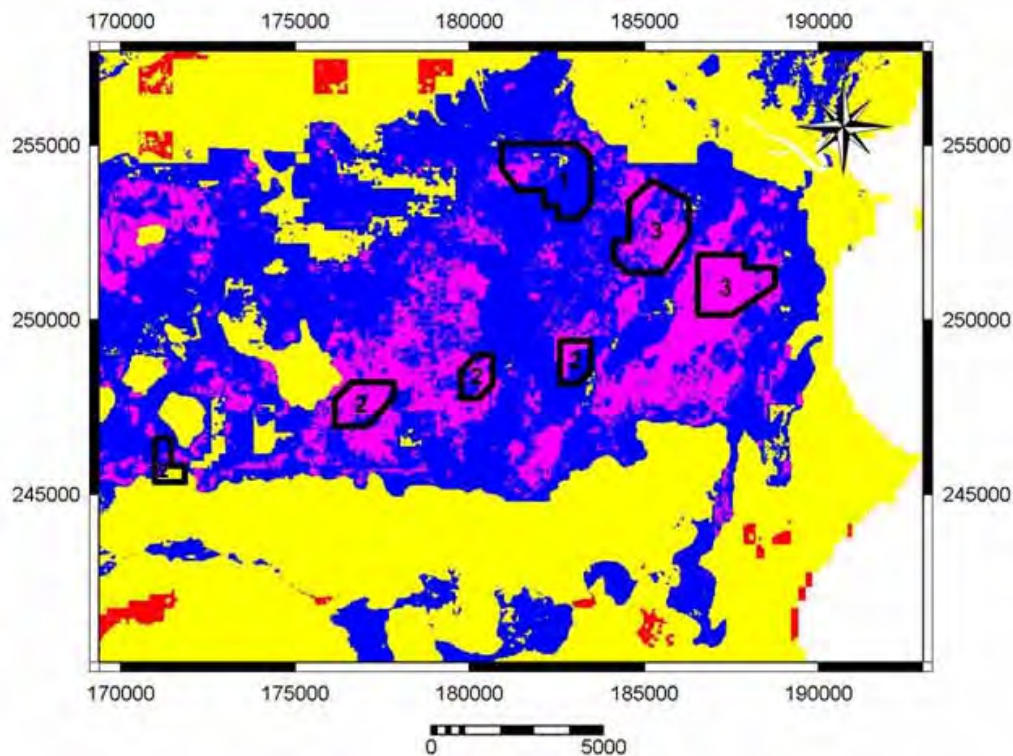


Figura 2. Mapa pronóstico final con las áreas categorizadas en 3 niveles de favorabilidad

El área de los sectores escogidos así como el grado de favorabilidad se muestra en la Tabla V:

Tabla V. Sectores favorables para la ocurrencia de depósitos de grava y arena para la construcción, su nivel de favorabilidad y el área en km<sup>2</sup>.

Sector	Favorabilidad	Area (km <sup>2</sup> )
1	3	3.00
2	3	4.00
3	2	0.70
4	1	4.00
5	2	1.70
6	2	0.90
7	2	1.02

## CONCLUSIONES

1. Se desarrolló una metodología de trabajo que permitió integrar la información de pozos al pronóstico regional para la ocurrencia de depósitos de arena de granulometría media a gruesa.



2. Se revelaron 7 sectores favorables para la ocurrencia de depósitos de arena para la construcción de los cuales uno es de categoría 1, 4 sectores de categoría 2 y 2 de categoría 3.
3. Los sectores favorables se localizan en las áreas catalogadas como muy favorables en el pronóstico realizado por Joao, 2003, esto valida los resultados obtenidos en ese trabajo.

## RECOMENDACIONES

1. Aplicar los resultados obtenidos en este trabajo en la proyección y ejecución de futuros trabajos de prospección en el área de estudio
2. Aprovechar la información brindada por los pozos hidrogeológicos, ingeniero geológico y de los levantamientos geológicos regionales (mapeo y estructurales) para futuros trabajos de pronóstico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Freire, L., Peláez R., 1981. Informe Final Sobre la Búsqueda Regional de Arena Cuarzosa en el Yacimiento La Fé – Cortés.
- Golden Software, 1995 Surfer Manual.
- Isaaks, E. H. & Srivastava, R. M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
- Lynx mining systems, 1998, MicroLYNX98. MicroLYNX Reference Manual.
- Ricardo, J., 2003. Evaluación del Potencial Mineral para los Depósitos de arena y grava para la Provincia de Pinar del Río, Tesis de Diploma.
- Turcanaza, E., 2000. Evaluación de recursos y negocios mineros. Impresos Universitarios S.A., Chile.





## DOS TIPOS GENÉTICOS DE MAGNESITA EN CAMAGÜEY, CUBA CENTRAL.

**María E. Quintana Vara<sup>(1)</sup>, Manuel A. Iturralde-Vinent<sup>(2)</sup>, Elena Y. Mishekurina<sup>(1)</sup>**

(1) Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este, Km. 5, Ciudad Camagüey  
marie@geomineracmg.cu

(2) Museo Nacional de Historia Natural de Cuba, Obispo # 61, Plaza de Armas, Habana, Vieja, Ciudad de la Habana, 10100. Iturralde@mnhnc.inf.cu

### RESUMEN

En la parte norte central del territorio de la provincia de Camagüey se encuentran importantes acumulaciones de rocas magnesianas sedimentarias, asociadas a arcillas y arenas marino-lacustres del Mioceno. Asimismo, aparecen vetas de magnesita como parte de las cortezas de intemperismo de las mafitas y ultramafitas, que probablemente sirvieron de fuente a las acumulaciones sedimentarias.

Las magnesitas de las cortezas de intemperismo son vetas de alta pureza y poco espesor, que afloran en las laderas de las elevaciones y en las partes altas del relieve, donde la sección laterítica de las cortezas ha sido erosionada. Hasta ahora no se conocen acumulaciones de valor industrial.

El otro tipo de magnesitas, los depósitos secundarios de origen sedimentario, se encuentra entre arenas y arcillas del Mioceno, acumuladas en la cuenca Magantilla, donde yacen rodeadas de elevaciones serpentiniticas. Este tipo de magnesita constituye acumulaciones de valor industrial en el yacimiento Redención. En las Antillas Mayores no se conocen otros yacimientos de este último tipo.

### ABSTRACT

In the territory of north-central Camagüey province occur accumulations of two types of magnesites. Vein in the weathering crusts of the mafic-ultramafic rocks, and lenses within Miocene sands and clays, which represent an interesting example of this kind of deposits.

Our work consists on differentiating the possible existence of two genetic types of magnesite. The rather small magnesites accumulations in weathering sections are veins of high purity magnesite, which crops out in the slopes and the higher parts of the relief, where the lateritic part of the weathering sections is eroded.

The secondary deposits of sedimentary origin, are lens of magnesian-rich gravels intercalated within sandy-clayed Miocene marine-lacustrine deposits of the Magantilla basin, developed surrounded of serpentinitic elevations. This is an unique deposit of industrial value, a type not known elsewhere in Cuba or the Greater Antilles.

### INTRODUCCIÓN

En la región norte y central de Camagüey encontramos importantes manifestaciones de rocas magnesianas (Fig. 1), tanto de origen sedimentario (Yacimiento Redención), como parte de cortezas de intemperismo (Yacimientos Olalla y Sin Reposo). Estas ocurrencias han sido estudiadas previamente con distintos objetivos, pero el interés por las magnesitas no ha disminuido (Matsko et al: 1962, 1963; Koliutski et al., 1966; Bugelsky y Formell Cortina, 1967; Iturralde-Vinent M. et al., 1987; Blanco, 1996; Martínez et.al. 2002). En este trabajo se presenta una caracterización general de estos tipos de depósitos, de modo que las mismas sean de amplio conocimiento.

Más de la mitad de las reservas mundiales de magnesita están en la China, Rusia y Corea del Norte. En menor cantidad aparece en Brasil y Colombia. Otras fuentes importantes de óxido de



magnesio son el agua marina (donde el Mg es el tercer elemento disuelto más abundante) y las salmueras, tanto de fuentes salinas como de lagos salados de climas áridos.

Las magnesitas tienen valor industrial para la producción de artículos refractarios, fertilizantes, polvo metalúrgico, de pinturas, sales minerales, en la industria farmacéutica y cosmetológica. En Cuba se utilizan en la producción de fertilizantes para la agricultura del tabaco y en la industria minera como parte de algunos procesos para el beneficio de las lateritas ferroniquelíferas.

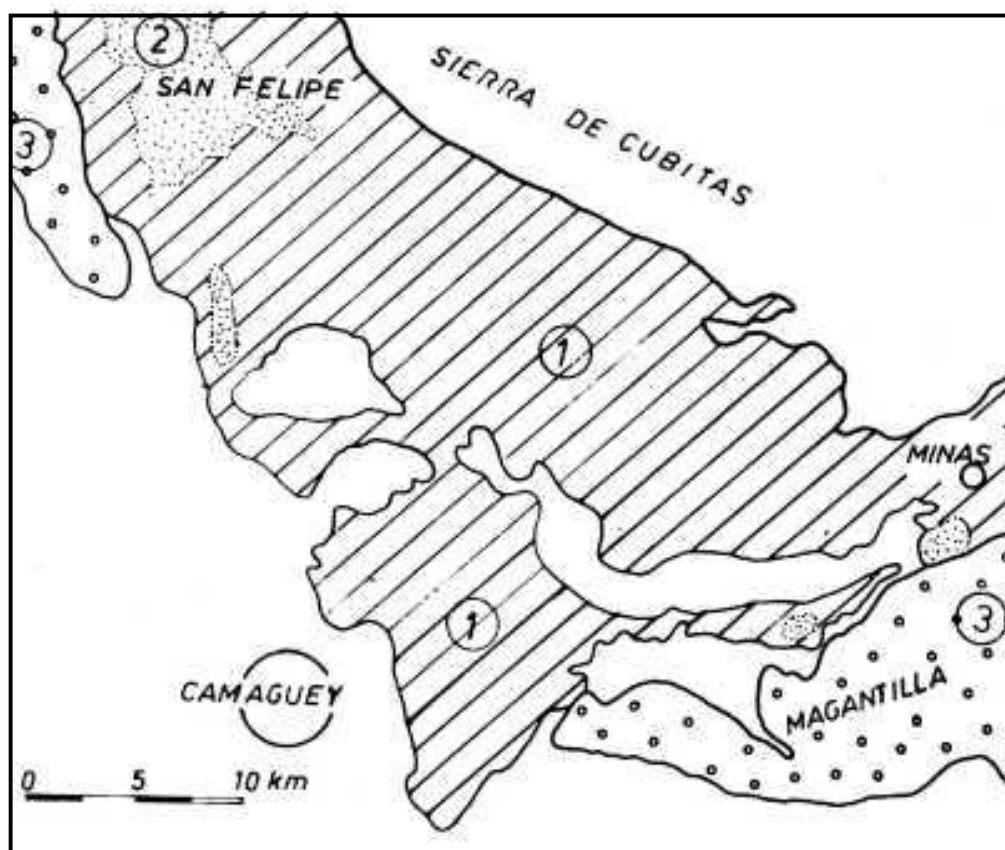


Fig. 1 Esquema de la situación geológica del área centro-norte de Camaguey. Leyenda: 1. macizo serpentinitico, 2. corteza de intemperismo laterítica, 3 rocas del Mioceno inferior y medio (Según Iturralde-Vinent et al., 1987).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución de este trabajo fue necesaria la compilación, revisión y análisis de los informes existentes en nuestros archivos, los resultados de los métodos utilizados como perforación de pozos con recuperación de testigo y de los resultados de estudios mineralógico-petrográficos realizados anteriormente, composición química de la materia prima y morfología de las acumulaciones minerales. Además se tuvo en cuenta el resultado de las investigaciones anteriores realizadas con el objetivo de delimitar las áreas de desarrollo de las rocas magnesianas, lo que determinó la necesidad de abordar el problema de su génesis, condiciones paleoecológicas de acumulación y otros aspectos. Se revisaron los estudios realizados de los cortes de más de cien pozos perforados en la depresión situada al este de Camaguey.



## RESULTADOS

En el área centro – norte de la provincia Camagüey (Fig. 1), se encuentra un extenso afloramiento de serpentinitas cuya corteza de intemperismo está representada en distintos sectores, ya sea su corte completo (meseta de San Felipe) o su sección inferior (lomas Sin Nombre, Bayatabo, La Entrada, etc.) donde se observan frecuentes vetas de magnesitas. Al suroeste y sureste del macizo serpentinitico se encuentran depresiones residuales rellenas de sedimentos del Mioceno Inferior y Medio, propios de la formación Magantilla, que contiene lentes de rocas magnesianas. A continuación se describen ambos tipos de manifestaciones de las magnesitas.

### Magnesitas de la corteza de intemperismo

Las vetas magnesianas de intemperismo aparecen en casi todas las áreas donde está desarrollada la corteza de intemperismo de las mafitas y ultramafitas. Estas cortezas pueden presentar un corte completo (meseta San Felipe) o sólo su sección inferior (lomas Sin Nombre, Bayatabo, La Entrada, etc.), donde afloran frecuentes vetas de magnesitas.

Sin embargo, se destacan dos localidades donde estas vetas son relativamente abundantes: Olalla y Sin Reposo. El yacimiento Olalla se encuentra a unos 16 Km. al norte de la ciudad de Camagüey por la carretera a Paso de Lesca, donde ocupa una superficie de 30 hectáreas y el Yacimiento Sin Reposo se encuentra a unos 8.5 Km. al norte del poblado Senado con una superficie de 0.06 hectáreas. Estas acumulaciones afloran en las laderas de las elevaciones y en las partes altas del relieve, donde la corteza ha sido parcialmente erosionada, donde las magnesitas generalmente presentan alta pureza. Generalmente estas constituyen la fuente original de las magnesitas sedimentarias.

Las magnesitas, cuyo nombre hace alusión a su composición química ( $MgCO_3$ ), cristaliza en el sistema trigonal con estructura cristalina análoga a la calcita. En las vetas se presenta en forma masiva o de agregados cristalinos granulares y masas criptocristalinas.

Las acumulaciones en corteza de intemperismo ocurren bajo la acción de agentes físico-químicos y bioquímicos, que dieron lugar a los procesos exógenos de formación de los minerales. Constan de una actividad destructiva sobre las rocas preexistentes (procesos de alteración) y de una actividad constructiva, de acumulación de los materiales resultados de la alteración de la roca original. Este proceso de alteración incluye la desagregación mecánica de rocas y minerales, debido a cambios de temperatura y la descomposición química, bajo la acción de aguas superficiales ricas en oxígeno y bióxido de carbono. Las vetas residuales de magnesita se acumulan en las partes inferiores de la corteza de meteorización de las rocas serpentiniticas.

### Magnesitas sedimentarias

El yacimiento Magnesita Redención, que ocupa una superficie de 15.77 hectáreas, se encuentra ubicado a unos 14 Km. al sur del municipio Minas, en una zona relativamente poco ondulada en una cuenca tipo graben, rodeada por algunas elevaciones serpentiniticas como Bayatabo y La Entrada, con alturas absolutas de +171.0 m y 199.0 m respectivamente. Este yacimiento ha sido explotado a cielo abierto desde la primera mitad del siglo XX.



El Yacimiento está constituido por rocas de la Formación Magantilla de edad Mioceno Inferior a Medio (Iturralde-Vinent, Tchunév y Cabrera, 1981). Las acumulaciones magnesianas son lentes o capas de dimensiones variables. Las capas productivas del yacimiento constituyen más del 70% de la secuencia del Mioceno. Entre ellas se reconocen sedimentos arcillosos, carbonatados y magnesianos.

Los sedimentos arcillosos pueden ser arcillas pardas a rojas, gris-verde a verdes, azulosas y blanquecinas. Los sedimentos carbonatados forman lentes de poca potencia con predominio de las margas, sobre todo a una profundidad de 392 metros. Los sedimentos magnesianos por regla general yacen entre las arcillas y presentan poca constancia en su espesor, asociados a capas de arenas y grava arenosa (Iturralde-Vinent et al., 1987). Las rocas carbonatadas magnesianas (que componen la materia prima mineral del yacimiento) son de grano muy fino o afanítica, friables, blancas y a veces con manchas grises, verdosas o rojizas en dependencia de las impurezas. En algunas muestras se observan dendritas de manganeso.

Como resultado del estudio petrográfico de numerosas secciones delgadas del Cuerpo Superficial del yacimiento Redención, éstas se dividen en tres grupos principales: rocas carbonatadas (magnesíticas), rocas arcillosas con carbonatos y rocas sedimentarias detríticas (areniscas y gravelitas). Las rocas que componen la materia prima son las rocas carbonatadas. A simple vista son rocas blancas, friables, a veces con manchas grises, verdosas o rojizas en dependencia de las impurezas; son de grano muy fino o afanítica.

Al microscopio se observa que el componente fundamental son los carbonatos magnesianos en proporciones variables desde 60 a 90 %, pero el contenido promedio más frecuente es de 80 a 85%. Tiene estructura variable, desde pelitomórfica hasta criptocristalina, con menos frecuencia microcristalina, aunque la textura de la roca es masiva, pero a veces se observan microestructuras brechosas, grumosas y psedoolíticas. Aparecen también minerales arcillosos en cantidades variables de 8 a 35%, pero generalmente apenas el 10 a 15% de la roca. Este material arcilloso tiene estructura pelítica y a menudo están mezclados con minerales serpentiniticos, que aparecen formando grumos y manchones dentro de la masa carbonatada o mezclados con ella. Otros granos clásticos aparecen en cantidades pequeñas de aluminosilicatos félsicos, cuarzo, calcedonia, clorita y óxidos e hidróxidos de hierro en cantidades insignificantes.

Las rocas arcillosas intercaladas entre las rocas magnesianas, son friables de colores blanco sucio y manchado, en tonalidades grises, verdosas y parduscas. Al microscopio se observa que la cantidad de minerales arcillosos alcanza de 60 a 90% y los minerales carbonatos apenas 10 a 40%. La estructura predominante es pelitomórfica, en partes criptocristalina y la textura masiva.

Las rocas clásticas (areniscas y gravelitas) están poco consolidadas con estructuras psamíticas-psefíticas y heterofragmentarias. Los clastos constituyen del 35 al 70% y están representados por fragmentos de rocas (serpentiniticas, arcillas, carbonatos), raros fragmentos de cuarcitas y en mucha menor proporción de cuarzo y plagioclasas. El cemento en las areniscas es de poros y de contacto, en menor proporción basal (30 a 35%), y en las gravelitas es basal muy abundante (35 a 60%). En ambos tipos de rocas el cemento está constituido por una mezcla de material clorítico-arcilloso con minerales serpentiniticos y carbonatos dispersos. Se observan también algunos clastos de mineral metálico.

## EL ORIGEN DE LAS MAGNESITAS





Según Matzko y otros autores (1962, 1963) las rocas magnesianas son un producto de la redeposición de las vetas de magnesitas que yacen entre las serpentinitas. Esto fue demostrado ampliamente por Iturralde-Vinent et al (1987) tomando en consideración que en la Formación Magantilla las arcillas marino-lacustre contienen microfósiles propios de aguas dulces a ligeramente salinas (Lubimoba y Sánchez-Arango, 1974) que se interdigitan con las rocas areno-gravosas aluviales con una red de paleocausas que drenaban el relieve serpentinitico aflorado. Además las clastitas (arenas, gravas, etc.) contienen detritos de serpentinitas, gabros, rocas volcánicas y en menor grado, minerales máficos, hidróxidos de hierro y cuarzo, que corroboran la composición de las fuentes de suministro (Fig. 2).

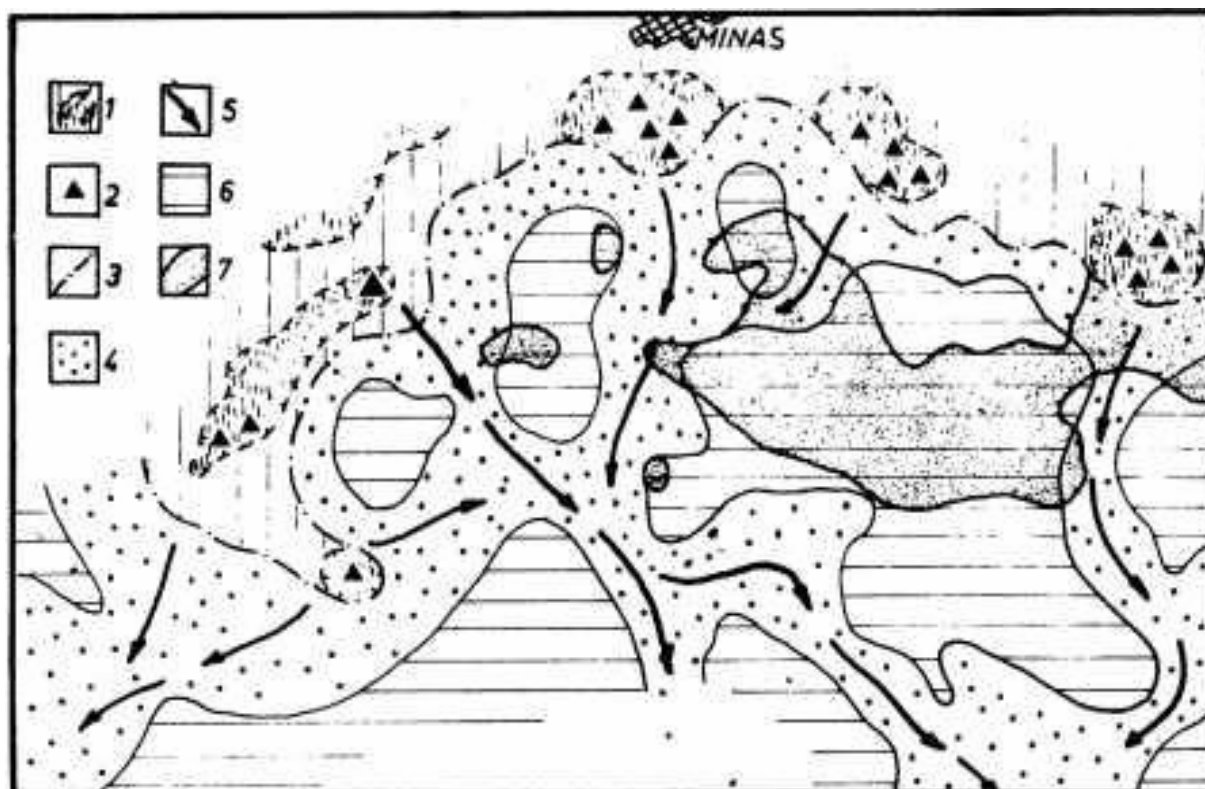


Fig.2. Reconstrucción paleogeográfica de la cuenca fluvio-lacustre Magantilla, durante el Mioceno Inferior a medio. Leyenda: 1. terrenos emergidos y colinosos. 2. áreas con abundantes vetas de magnesita. 3. límite aproximado de la cuenca, 4. depósitos clásticos-arcillosos aluvio-lacustre, 5. cursos principales del drenaje fluvial, 6. depósitos arcillosos de los interfluvios lacustres 7. áreas de desarrollo de los lentes magnesianos. (Tomado de Iturralde-Vinent et al., 1987).

Es evidente que no se trata de rocas evaporíticas, sino de agregados de detritos magnesianos (clastitas magnesianas) originados por la redeposición de las magnesitas de las vetas eluviales. Estos detritos fueron transportados por las corrientes fluviales hasta la laguna, donde se acumularon en los interfluvios. El cemento fueron soluciones magnesianas y partículas finas de materiales magnesianos que pasaron de las aguas a los sedimentos. Los detritos magnesianos eran probablemente muy finos (pelíticos), lo que permitió que se acumularan fuera de los causes fluviales, allí donde había condiciones de baja energía de la corriente y también se acumulaban las arcillas.



Los depósitos secundarios de origen sedimentarios, se desarrollan en medio acuático. Ellos se producen también en aguas fluviales, pero son más intensos y variados en cuencas lacustres, marinas y oceánicas. Por desagregación de las rocas, transporte del material resultante y redeposición de los minerales resistentes a la acción de agentes químicos, se pueden formar concentraciones mecánicas de minerales: como son los depósitos eluviales y aluviales.

Sintetizando, el proceso de formación de las rocas magnesianas se puede suponer que tuvo lugar en los siguientes pasos:

1. Erosión y lixiviación de las vetas magnesianas de la corteza de intemperismo de las serpentinitas, e incorporación de los detritos y soluciones magnesianas a la red fluvial.
2. Transportación de los detritos magnesianos por las aguas fluviales ricas en magnesio hacia la cuenca miocénica de tipo lacustre y separación hidrodinámica del material detrítico fino hacia los interfluvios donde ocurría la deposición de sedimentos pelíticos.
3. Acumulación de los detritos magnesianos en los interfluvios a consecuencia de procesos de floculación, hidrólisis y separación mecánica, e incorporación del magnesio en solución a los sedimentos mediante reacciones de intercambio de bases, etc.

## CONCLUSIONES

1. Existen dos tipos genéticos de magnesita en Camagüey.
  - Acumulación in situ de corteza de intemperismo
  - Depósitos redepositados en sedimentos del Mioceno.
2. En las Grandes Antillas solamente en Camagüey existen yacimientos de magnesita sedimentaria, la cual es de interés mundial por las características de su acumulación.
3. Estas magnesitas tienen valor industrial y tiene una gran importancia para la producción de artículos refractarios, producción de fertilizantes, para polvo metalúrgico, para la producción de pinturas, producción de sales minerales, en la industria farmacéutica y cosmetológica, etc. Sin embargo, el uso fundamental en Cuba es para la producción de fertilizantes, de acuerdo a la norma cubana NRIB-252-8 "Magnesita Cruda: Especificaciones de Calidad."

## BIBLIOGRAFÍA

- Bugelsky Y.Y., Formell Cortina F. 1967 geoquímica e hidrogeoquímica de la cantera de intemperismo ferro niquelífera de Cuba serie geológica No. 3. La Habana.
- Finko, V., I. Korin, F. Formell Cortina, 1967: Sobre la edad de la corteza de intemperismo y las lateritas de Cuba. Revista de geología año 1, No 1 p.30-40, IGP, ACC.
- Iturralde-Vinent, M., De la Torre. A. y M. E. Quintana: 1987. Rocas Magnesianas Sedimentarias en el Mioceno de Camagüey. Métodos de prospección. Revista Tecnológica. MINBAS.
- Iturralde-Vinent, M., D. Tchounev, y R. Cabrera Ortega, 1981: Informe sobre las investigaciones y resultados del levantamiento geológico a escala 1: 250 000 del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas. Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- Koliutski V.N. et al. : 1966. Informe sobre los Trabajos de Búsqueda y Exploración del yacimiento Magnesita Redención. Provincia Camagüey. Oficina Nacional de Recursos Minerales Camagüey.
- Koliutsky V. 1966. Trabajos de búsqueda y exploración de materia prima para la producción de refractarios, filtros y fertilizantes. Geominera Camagüey.





- Lubimova, P .y J.Sánchez-Arango 1974: Los ostrácodos del Cretácico Superior y del Terciario de Cuba. Inst. Cubano Libro, la Habana. p.171.
- Matsko A.E. et al: 1962 Informe sobre los Resultados de la Exploración del yacimiento Magnesita Redención. Provincia Camagüey. Oficina Nacional de Recursos Minerales Camagüey.
- Matsko A.E. et al: 1963. Informe sobre los trabajos de Búsqueda de Magnesita en los yacimientos Olalla y Sin Reposo. Provincia Camagüey. Oficina Nacional de Recursos Minerales Camagüey.
- Martínez M. et al, 2002. Resumen integral de las investigaciones realizadas en los sedimentos magnesiales de la provincia Camagüey.
- Piñero E., Rojas R., Iturralde -Vincent M, et al.1990 Informe sobre los resultados del levantamiento geológico complejo 1:50 000 y sus búsquedas acompañantes del polígono CAME III Camagüey, Sectores Ciego de Ávila-Vertientes. Archivo Técnico de la Empresa Geominera Camagüey. Inédito.



## VALOR AÑADIDO A LAS MENAS MAGNESÍICAS DEL YACIMIENTO REDENCIÓN Y DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA ZONA.

**Alejandra Nayda Hernández Martínez<sup>(1)</sup>, Dania Álvarez<sup>(1)</sup>, Joelis Rodríguez<sup>(1)</sup>, Ileana Cabrera<sup>(1)</sup>, Roxana Alfonso<sup>(1)</sup>.**

(1) Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Varona 12028 Km 1 ½, Boyeros, Ciudad de La Habana, Cuba. ZIP 10 800, E-mail: [aida@cipimm.minbas.cu](mailto:aida@cipimm.minbas.cu), y [acevedo@ip.minbas.cu](mailto:acevedo@ip.minbas.cu).

### RESUMEN

En el presente trabajo se resumen los resultados de varias investigaciones realizadas con diferentes muestras del yacimiento Magnesita Redención, para la obtención de un producto de alto valor añadido (carbonato de magnesio de alta pureza) que puede ser empleado en diferentes sectores de la industria entre ellos como precursor para la obtención de productos del magnesio (óxido, hidróxido, sulfato, cloruro, espinela aluminato de magnesio, etc).

Se presentan los resultados de las investigaciones a la escala de laboratorio y a escala de banco, determinándose un modelo matemático que describe el proceso de disolución del óxido de magnesio de la magnesita semicalcinada en soluciones de ácido carbónico así como las condiciones y parámetros óptimos de operación en el proceso global.

Se realizaron los balances térmicos y de materiales a partir de la cual se determinaron los principales insumos en el proceso, se realizó una tarea técnica para una planta industrial y se realizó un análisis económico del proceso.

A partir de los resultados se determinó la viabilidad técnica, económica y ambiental de la tecnología propuesta.

El valor de la inversión resultó el elevado y por limitaciones presupuestarias la introducción será a largo plazo.

Se analizan variantes de equipamiento e ingeniería que pudieran reducir al mínimo la inversión y su ejecución a corto o mediano plazo, incluyendo la posibilidad de un parnet.

### ABSTRACT

The present work resumes the results of various investigations carried out with different samples of the magnesite from "Redención" deposit, to obtain a product of high added value (magnesium carbonate of high purity) that can be used in different sectors of the industry, among them, as a precursor to obtain the magnesium products (oxides, hydroxides, sulfate, chloride, magnesium aluminate spinel, etc.).

The results of the researches at lab and bench scales are shown, determining a mathematical model which describes the process of the magnesium oxide dissolution of the semi-burnt magnesite in carbonic acid solutions as well as the optimum conditions and parameters of operation in the global process.

Thermal and materials balances were carried out, based on which the main supplies of the process were determined. A technical task was done for an industrial plant as well as the economic analysis of the process.

Based on the results the technical, economical and environmental viability of the proposed technology were determined.

The value of the investment was high and due to budget limitations, its introduction will be at long term.

Equipment and engineering alternatives are being analyzed to reduce the investment and its exploitation to the minimum (at short or medium terms), including the possibility of a parnet.

The present work resumes the results of various investigations carried out with different samples of the magnesite from "Redención" deposit, to obtain a product of high added value (magnesium carbonate of



high purity) that can be used in different sectors of the industry, among them, as a precursor to obtain the magnesium products (oxides, hydroxides, sulfate, chloride, magnesium aluminate spinel, etc.).

The results of the researches at lab and bench scales are shown, determining a mathematical model which describes the process of the magnesium oxide dissolution of the semi-burnt magnesite in carbonic acid solutions as well as the optimum conditions and parameters of operation in the global process.

Thermal and materials balances were carried out, based on which the main supplies of the process were determined. A technical task was done for an industrial plant as well as the economic analysis of the process.

Based on the results the technical, economical and environmental viability of the proposed technology were determined.

The value of the investment was high and due to budget limitations, its introduction will be at long term.

Equipment and engineering alternatives are being analyzed to reduce the investment and its exploitation to the minimum (at short or medium terms), including the possibility of a parnet.

## INTRODUCCIÓN.

Como resultado de las investigaciones geológicas y tecnológicas de la materia prima del yacimiento Magnesita Redención y del marco contextual que aceleró la ejecución de estas actividades, orientadas a la generación de nuevos conocimientos científico - técnicos, se valoró la necesidad y la conveniencia de la introducción de la tecnología apropiada para la obtención de un producto de alta calidad (carbonato de magnesio) el cual constituye una fuente precursora de magnesio para diferentes mercados. Entre los aspectos evaluados se tuvo en cuenta que:

- ♦ La explotación de los yacimientos de magnesita data del siglo XIX, y se incrementó en América durante la Segunda Guerra Mundial debido a la producción de magnesio metálico para la industria bélica, luego decreció. No obstante en la segunda mitad de la década de los 80 se produjo un incremento de los refractarios de sínter de magnesita obtenidos a partir de magnesita, debido la sustitución de los hornos de solera abierta por los convertidores básicos de oxígeno en la industria del acero.
- ♦ Las reservas mundiales de magnesita de alta calidad se han ido agotando lo que ha acelerado el desarrollo de nuevos métodos de beneficio.
- ♦ El desarrollo tecnológico demanda nuevos materiales y materiales avanzados para las tecnologías de punta, lo que ha incrementado el mercado de los productos del magnesio.
- ♦ El hidruro de magnesio ( $MgH_2$ ), cuya presencia se ha comprobado en las manchas solares figura como acumulador térmico de alta tecnología en el primer plano de I+D a partir de lo cual se considera el magnesio como un elemento de importante pasado y de prometedor futuro.
- ♦ El magnesio participa con un 13% en la estructura de la tierra figurando en el cuarto lugar (después del hierro, oxígeno y silicio) de los materiales básicos elementales de la tierra y está presente en más de 60 minerales. Se estima que en los mares del mundo hay una reserva de 2 billones de toneladas de magnesio. Mientras entre el mundo orgánico de las plantas, los animales y los seres humanos, existe un ciclo magnésico ya que los seres vivos absorben magnesio, lo almacenan y por eliminación y muerte lo vuelven a ceder .
- ♦ La legislación vigente en cuanto a seguridad industrial, exige materiales refractarios de cualidades inofensivos durante su manipulación y colocación con mínimas emisiones nocivas durante su empleo y en cuanto a protección ambiental requiere la minimización de



residuos para evitar la generación de desechos tóxicos. Esto ha conducido a reducir y prohibir el consumo de materiales refractarios de magnesia-cromo en las acerías y en la industria del cemento así como a la necesidad de sustituirlos por nuevos productos que no contengan cromo. Para este fin se emplea de forma creciente la espinela  $MgAl_2O_4$  para cuya síntesis se utilizan compuestos de magnesio de alta calidad.

- ♦ Se incrementa el consumo de materiales retardadores de fuego producidos a partir de compuestos de magnesio.
- ♦ En el mundo existen diferentes fuentes para la obtención de magnesio y sus compuestos, entre los que podemos citar a los minerales magnesita, dolomita, brucita y forsterita, así como el agua de mar y las salmueras (residuos industriales), la más abundante rica en magnesio es la magnesita y ha sido utilizada tradicionalmente en gran medida para la producción de magnesita cáustica y magnesita calcinada a muerte.
- ♦ En Cuba se importan los productos de magnesio y el mercado es cada vez más creciente.
- ♦ El desarrollo de la industria del níquel, en los procesos de lixiviación ácida a alta presión y a presión atmosférica demanda compuestos de magnesio de alta calidad para ser empleados como agente neutralizante en la precipitación de los hidróxidos de níquel y de cobalto o en la neutralización de los licores ácidos.
- ♦ Las nuevas formulaciones de materiales fertilizantes requieren también compuestos de magnesio de alta calidad.
- ♦ Con la caída del Campo Socialista en 1991, las relaciones comerciales con los principales suministradores de magnesia en Cuba, sufrieron cambios y se basan en los precios del mercado mundial, lo que significa mayor erogación de divisas al país y la necesidad de sustituir importaciones.
- ♦ En estudios realizados para evaluar las fuentes de magnesio nacionales se ha visto que la más importante es la mena magnesítica del yacimiento Magnesita Redención.
- ♦ Las características de la mena en cuanto a contenido de impurezas hacen necesario su beneficio.
- ♦ Las características mineralógicas de la mena dificultan el beneficio por métodos convencionales y requieren el desarrollo de nuevas tecnologías.

Se han realizado múltiples investigaciones para el procesamiento de las menas de magnesita Redención, determinándose la tecnología de la lixiviación con ácido carbónico de la magnesita semicalcinada como apropiada para añadir valor a esta materia prima por su viabilidad técnica - económica - ambiental y desarrollo sostenible en la zona del municipio de Minas de Camagüey, en el poblado Redención donde se encuentra ubicado el yacimiento.

La magnesita semicalcinada se utiliza actualmente en la agricultura como fertilizante, pero su calidad no satisface los requerimientos que demanda el mercado cubano y extranjero debido al elevado contenido de impurezas ( $SiO_2$  7-21%,  $CaO$  4-9%,  $Al_2O_3$  2-3%,  $Fe_2O_3$  2-3%).



Se ha demostrado experimentalmente que como magnesia cáustica no tiene la calidad requerida y que cuando se calcina a muerte se producen fases de bajo punto de fusión que limitan su uso como refractario. Como agente neutralizante en procesos ácidos como el del níquel no es atractivo su uso debido al residuo sólido que se genera en la neutralización y a los grandes consumos requeridos debido al bajo contenido de MgO. Por estas razones ha sido necesario desarrollar una tecnología para la obtención de carbonato básico de magnesio de alta pureza (MgO > 97 %) que sí cumple con los requisitos solicitados por el mercado.

Este trabajo tiene como objetivo hacer una valoración de los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas hasta el presente que permiten establecer una tecnología apropiada para el procesamiento de las menas de magnesita Redención, dándole un valor añadido a las mismas y cuya innovación tecnológica permitirá el aprovechamiento integral de los recursos evaluados, con un impacto económico, con un impacto económico social favorable en la zona y las medidas de protección del medio ambiente garantizados, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la región y de la nación.

En este caso propuesta de la innovación se concibe como un combinado de magnesita, en el que se produciría magnesita cruda (molida), magnesita semicalcinada, carbonato de magnesio de alta calidad, magnesia cáustica, magnesia calcinada a muerte u otro compuesto de magnesio en función de la demanda en la industria interna y externa.

Este trabajo tiene como objetivo hacer una valoración de los resultados de las investigaciones realizadas con la materia prima del yacimiento Magnesita Redención para la obtención de un producto de alto valor añadido (carbonato de magnesio de alta pureza), que se emplea en diferentes sectores de la industria nacional y extranjera, para fundamentar y hacer posible la innovación tecnológica y su contribución al desarrollo sostenible en la región de Minas en Camagüey, donde se encuentra ubicado el yacimiento, mediante la creación de un combinado de magnesita basado en la tecnología apropiada para el procesamiento de las menas que constituyen dicho yacimiento. Además para este propósito se analiza la situación actual del yacimiento en cuanto a la materia prima, el mercado, las reservas y posibilidades de producción.

## **SITUACIÓN ACTUAL DEL YACIMIENTO Y LA TECNOLOGÍA.**

### **Materia Prima.**

La única fuente mineral de magnesita en Cuba es el yacimiento "Magnesita Redención" ubicado en la región de Minas de la provincia de Camagüey y denominado así en el mapa de yacimientos de Cuba.

Parte de sus reservas están concesionadas a la Empresa Geominera Camagüey y son explotadas por la misma en una cantera para este fin.

Debido a la calidad de la materia prima de este yacimiento (32-40% MgO, 5-19% SiO<sub>2</sub>, 2-4 % CaO, 2-3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y 2-3 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) tradicionalmente se ha empleado en la agricultura en forma natural o semicalcinada, para estos casos el material requiere ser beneficiado. En forma natural se emplea como agente acondicionador de suelos ácidos y deficitarios en magnesio el cual forma parte de la clorofila de las plantas.

La magnesita semicalcinada (≈ 56 % MgO) se produce a partir de la magnesita explotada por Geominera Camagüey en la planta de calcinación de la fábrica "Gustavo Machín" ubicada en



Jaruco, provincia de La Habana la cual pertenece a la Empresa Geominera Habana-Matanzas. Se emplea en fertilizantes para cítrico y tabaco y en alimentación animal como superante.

Esta planta tiene una capacidad de diseño de 38000 t/año de magnesita semicalcinada. La producción en esta planta tiene los siguientes inconvenientes:

- ♦ Es necesario transportar el mineral desde la cantera en Camagüey hasta la planta con el empleo de ferrocarril y camiones.
- ♦ Se transportan considerables cantidades de agua y CO<sub>2</sub> contenidos en el mineral, que se pierden en el proceso.
- ♦ Parte del producto semicalcinado se consume en zonas aledañas al lugar de origen, por lo que se transportan de nuevo hacia Camagüey.
- ♦ La instalación se encuentra actualmente en muy malas condiciones técnicas por lo que se reduce considerablemente su capacidad productiva y existen peligros de accidentes.
- ♦ El control tecnológico en el proceso es deficiente, produciéndose pérdidas innecesarias de combustibles en la obtención de un producto de menor calidad que la esperada. (Se emplea la temperatura de calcinación superior a la óptima y se produce la recombinación del MgO en la estructura del semicalcinado haciéndose insoluble) y como consecuencia no asimilable por las plantas o animales.
- ♦ El impacto ambiental generado por el polvo que escapa con los gases de salida del horno.

La producción promedio de esta planta en los últimos 10 años es de 3000-5000 t/año lo cual refleja el bajo empleo de las capacidades productivas de la instalación [ MINBAS, 2001 ].

### **Mercado.**

La demanda de magnesita ha sufrido variaciones importantes en los últimos 20 años y está condicionada por el desarrollo de otras ramas de la industria.

Por ejemplo en las décadas de los 80 y 90 se manejaron demandas de hasta 25 000 t/año de MgO para la industria refractaria (incluía diferentes calidades en cuanto a contenido de MgO), sin considerar pequeños consumos de magnesia cáustica para pegamentos, medicamentos y otros.

Con el agravamiento de la economía cubana, se deprimió la industria nacional, fundamentalmente en aquellas esferas de altos consumos energéticos, aspecto que influyó también en el campo de I+D y tanto las investigaciones como la producción industrial de magnesita fueron afectadas.

Con la recuperación económica del país, se fueron restableciendo las principales industrias y con ello la demanda de productos del magnesio, así se establecería que en los próximos años:

- ♦ La futura inversión de níquel en Camagüey consumiría magnesita de alta pureza (MgCO<sub>3</sub>>90%) y magnesita calcinada (MgO>95%) en la segunda etapa del proceso de neutralización de licores y en la precipitación de níquel y cobalto.
- ♦ Se incrementa la producción de fertilizantes tradicionales y nuevos materiales fertilizantes (Bulk Blend).
- ♦ Se consume magnesia cáustica ligera y reactiva como aditivo para el petróleo.
- ♦ Se desarrollan nuevos materiales refractarios y cerámicas que consumen magnesia en el proceso de síntesis.





En la tabla I se presenta la principal demanda estimada de magnesita estimada en el Programa de Desarrollo de Minerales Industriales a partir de 6 años después de la de la inversión del Níquel.

**Tabla I.- Demanda de magnesita a partir de 6 años después de la inversión del níquel\***

Productos	Características Técnicas	Demanda estimada (M ton)					
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Magnesita semi-calcinada	MgO-53 % min.	26.0	30.0	30.0	30.0	31.0	33.0
Carbonato de magnesio	MgCO <sub>3</sub> -90% min.	61.0	123.0	123.0	123.0	123.0	123.0
Oxido de magnesio	MgO-95% min.	4.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
TOTAL		91.0	160.0	162.0	162.0	163.0	165.0

\*Existen otras demandas que no aparecen dado que son pequeñas y no disponemos de cifras exactas.

### Reservas.

Las reservas de magnesitas se distribuyen en diferentes cuerpos que forman paquetes lenticulares. De ellas los más importantes son:

Cuerpo Superficial. Se desarrolló en la superficie a unos 20 m de profundidad, con un contenido promedio de 32-34% de MgO. Consiste en varios lentes separados por secuencias de arcillas generalmente de aspecto plástico con intercalaciones de areniscas.

Cuerpo Principal. Es un cuerpo profundo con potencia que va desde 40 m hasta la potencia del yacimiento (200 m). En él se delimitan 2 tipos tecnológicos de material útil, con 32-38% MgO del tipo I y con >38 % de MgO Tipo II. En este cuerpo se dificultan los trabajos de laboreo minero y con ello su explotación debido a las condiciones hidrogeológicas del mismo, ya que debido al nivel del manto freático y a la profundidad del cuerpo, los recursos se encuentran inundados.

En la tabla II se presenta la situación de las reservas con cierre en el año 2003.



**Tabla II.- Situación de las reservas con cierre en el año 2003.**

Yacimiento "Magnesita Redención"	Reservas (X 10 <sup>3</sup> t)			Contenido (%)		
	Medidas	Indicadas	Inferidos	MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO
Cantera concesionada	-	29.54	-	36.38	9.74	4.75
Cantera No concesionada	106.6	215.4	-	39.89	7.84	3.20
Cuerpo Superficial	1042.78	69.68	779.47	35.55	14.56	4.35
Cuerpo principal	-	-	29676.83	36.11	12.14	3.57
Total yacimiento	1149.38	314.62	30478.30	-	-	-

Las reservas son suficientes para enfrentar las demandas en el período.

Debido a las dificultades para la explotación del Cuerpo Principal, deben acometerse estudios geológicos de Prospección-Exploración para evaluar los alrededores del Cuerpo Superficial y ampliar las reservas y estudios geólogo-económicos para elevar los recursos medidos e indicados a reservas probadas y probables lo cual se contempla en el subprograma de magnesita del Programa Nacional de Minerales Industriales que constituye un plan estratégico del MINBAS para el desarrollo de estos recursos.

## TECNOLOGÍA APROPIADA.

En los epígrafes precedentes se ofrecen elementos que posibilitan comprender la necesidad de explotar la materia prima del yacimiento Magnesita Redención para enfrentar las principales demandas a corto y mediano plazo que responden a renglones priorizados de muestra economía (industrias del níquel, petróleo, fertilizantes, refractarios, medicamentos y otros) y lo conveniente de realizar cualquier inversión en zonas aledañas al yacimiento, ya que el principal consumidor potencial está a 60 km (San Felipe) y otros consumidores (fertilizantes) están cerca de la provincia de Camaguey, si además adicionamos los inconvenientes que presenta el proceso actual (calcinación) en la planta "Gustavo Machín", entre ellos, la instalación requiere una inversión para su rehabilitación.

En los epígrafes siguientes se valoran los elementos que conducen a la innovación tecnológica y el desarrollo sostenible en los alrededores del yacimiento.

Es evidente que la calidad de la materia prima de magnesita (tabla II) no cumple con las exigencias de los productos que demanda la industria, por lo que la misma debe ser beneficiada, de ahí la necesidad de desarrollar la tecnología para obtener la calidad de los productos deseados y su evaluación tecnológica para la definición de la tecnología apropiada para este fin.

Se valoró teniendo en cuenta que la rama minera, a la que está asociada la tecnología, es por naturaleza productora de impactos ambientales tanto en la actividad del minado como de extracción de la materia prima, que pueden causar problemas sociales, económicos, políticos y culturales en el lugar donde se encuentran el yacimiento y/o la planta de procesamiento. Por ejemplo los impactos sobre la morfología y el relieve, producen perturbaciones del paisaje, degradan el suelo, remoción de la capa vegetal provocando la deforestación, cambios en el modelo de drenaje, erosión acelerada, pérdidas de la capa de suelo afectando la actividad agrícola. Las afectaciones sobre la flora causan la migración y extinción de especies forma endémica de la región. Se produce la contaminación de redes fluviales, ríos y arroyos y del aire por afectaciones al agua y a la atmósfera.



Pero también existen mecanismos, amparados por leyes constitucionales que sirven para controlar y regular estas actividades de manera que se desarrolle una minería sostenible que garantice las necesidades actuales de nuestra sociedad, en este caso sustituir importaciones de productos de magnesio mediante la producción nacional de las mismas para satisfacer la demanda, lo cual refrenda en desarrollo económico-social del Municipio de Minas, donde está ubicado el yacimiento y se propone la ubicación de la planta de procesamiento, al crear fuentes de ingresos importantes directa o indirectamente, potenciar nuevos empleos y otros beneficios sociales que se generan alrededor de un proceso inversionista de esta naturaleza (centros comerciales, nuevas viviendas, ampliación de centros de salud, educacionales y culturales, etc), esto, sin poner en riesgo las necesidades de las futuras generaciones y proteger el medio ambiente.

De forma general en Cuba, a partir de la década del 70 se establecen estrategias con tendencias a conjugar la necesidad de desarrollar la sociedad a expensas de la explotación de yacimientos paralelamente a una política de protección del medio ambiente y de creciente bienestar de la población en todas la esferas.

En el anexo 27 del Capítulo I (Fundamentos políticos, sociales y económicos del estado) de la Constitución de la República en Cuba <sup>(Constitución Rep. Cuba, 1992)</sup> se postula que:

*“El estado protege el Medio Ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar esta política.*

*Es deber de las ciudades contribuir a la protección del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna y todo el rico potencial de la naturaleza”*

Lo anterior establece el carácter constitucional de la protección al individuo, al medio ambiente y a recursos naturales del país que constituye el principio básico del desarrollo sostenible.

Por otra parte, en el año 1995 se aprobó por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministro de ley No. 76, ley de Minas que regula la política de la actividad minera la cual se realiza mediante un régimen concesionario en el que las concesiones se otorgan acotadas en el tiempo, permitiendo así un uso racional del recurso concesionado y una planificación adecuada de su explotación (gaceta oficial, 1995).

La ley establece, entre las obligaciones de los concesionarios, la elaboración de estudios de impacto ambiental y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar el impacto derivado de sus actividades.

Estos estudios desde la etapa de investigación de los yacimientos, mediante un plan de monitoreo ambiental controlado por los Centros de Inspección y Control Ambiental a los que responden las concesionarios por la ejecución de las medidas impuestas.

Antes del otorgamiento de las concesiones se realiza la compatibilización con los restantes organismos del estado para conciliar los intereses territoriales y estatales, asegurar la ejecución de las actividades futuras y prever posibles litigios.



En 1997 fue aprobada la ley No. 81 del Medio Ambiente que establece principios, objetivos y conceptos básicos de la política ambiental cubana, el marco institucional y los instrumentos para su materialización, las atribuciones, funciones y deberes de los órganos estatales y en general, los derechos y obligaciones de las personas naturales y jurídicas. <sup>(Gaceta oficial 1997)</sup>

En general, en Cuba, para lograr un desarrollo sostenible en territorios donde interviene la actividad minera, se establece como requisitos indispensables para la explotación de un yacimiento los siguientes:

- Definición de los recursos y reservas, aprobados por la autoridad Minera Competente (ONRM).
- Estudio de impacto ambiental.
- Licencias ambientales.
- Proyectos de explotación minera a medianos y cortos plazos.
- Planes anuales de Minería.
- Planes de rehabilitación continua de las áreas desbastadas.

Con las definiciones y valoraciones anteriores, llegamos a la definición de una tecnología apropiada, o sea "aquella que responde como alternativa a un fin, corresponde a un objetivo, y se acomoda a determinada solución con eficiencia, eficacia y pertinencia, tecnología idónea, la que sus usos se adecuan a los fines que valoren el contexto social y medio ambiental. <sup>(Batista, 2003)</sup>

En nuestro caso, el proceso de lixiviación con ácido carbónico de las menas del yacimiento Magnesita Redención activadas térmicamente para la obtención de carbonato de magnesio de alta calidad ( $\text{MgCO}_3 > 90\%$ ) para su uso en diferentes ramas de la industria (Níquel, refractario, petróleo, farmacéutico, fertilizantes y otros) con el objetivo de sustituir importaciones actuales y futuras, es un proceso técnico, económico y ambientalmente viable que contribuye al desarrollo económico y social de la zona, aledaña al yacimiento en forma directa y a la economía y desarrollo social nacional en forma indirecta debido a los mercados que satisface el producto generado en el proceso.

### **Factibilidad técnica.**

Como ya se ha señalado, para la explotación de las menas no concesionadas de magnesita, para satisfacer los principales mercados mencionados, se requiere el beneficio de la materia prima. Debido al elevado contenido de impurezas (5-19%  $\text{SiO}_2$ , 2,7-4.3 %  $\text{CaO}$ ; 2-3 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 2-3%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y a sus características mineralógicas, se dificulta el beneficio por los métodos físico-mecánicos convencionales como flotación, medios densos e hidrogravimetría, que son los característicos para la magnesita, debido al entrecrecimiento fino entre el mineral de magnesita y los minerales contaminantes (arcilla como portador mayoritario de sílice y dolomita como portador de  $\text{CaO}$ ). Esto ha sido comprobado experimentalmente.

Por este motivo se hizo necesario seleccionar para investigar un proceso químico para el tratamiento de las menas, para lo cual se realizó un estudio comparativo de 3 procesos (SULMAG, RUTMER y lixiviación con ácido carbónico) reportados en la literatura mundial <sup>[Hdez. AN y otros, 1986]</sup>, seleccionándose el último por ofrecer mayores ventajas sobre los otros dos.

El proceso consiste en la lixiviación con ácido carbónico de la materia prima semicalcinada bajo la presión parcial del  $\text{CO}_2$ , en la cual se produce la hidratación del  $\text{MgO}$  formado en el calcinado, luego la disolución del mismo formando carbonato ácido soluble. La sal soluble



precipita como carbonato básico de magnesio insoluble por desplazamiento del  $\text{CO}_2$  disuelto mediante ebullición de la solución lixiviada o calentamiento al vacío de la misma.

El carbonato de magnesio, es un producto de alta calidad ( $\text{Mg} \geq 97\%$ ). El carbonato puede emplearse como tal o calcinado a temperatura que puede variar desde  $600^\circ\text{C}$  hasta  $1500^\circ\text{C}$  en dependencia de las características deseadas, desde alta reactividad hasta no reactivo (sinter de magnesio) respectivamente.

**Investigación a escala de Laboratorio.** [Hdez. AN y otros, 1986, Hdez. AN y otros, 1992, Hdez. AN, Granda O. 1986]

La investigación se realizó con una muestra representativa del Cuerpo Superficial correspondiente al mineral de baja ley que es la mayoritaria en ese cuerpo.

#### Caracterización Química.

La composición química de la muestra se presenta a continuación:

#### Composición Química (%)

MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PPI
33.94	19.13	2.77	2.19	2.31	0.15	0.34	38.16

#### Caracterización granulométrica y Química por fracciones.

Los resultados de la caracterización granulométrica y química por fracciones demostraron que la distribución de los componentes es homogénea en las diferentes fracciones lo que indica que no hay concentración de MgO ni de SiO<sub>2</sub> que permita una clasificación del mineral para obtener un concentrado.

#### Caracterización Mineralógica.

El análisis mineralógico se realizó por métodos ópticos, análisis térmico diferencial (DTA), análisis por difracción de rayos X (DRX) análisis petrográfico y determinación de los restos insolubles en ácido clorhídrico.

Como resultado se determinó que los principales minerales presentes son la magnesita, arcilla del tipo palygorskita, dolomita y minerales de sílice (fundamentalmente calcedonia, con estructura microcristalina en forma de concreciones libres. Se encuentran algunos minerales metálicos, aunque en cantidades no apreciables tales como magnetita, hematita, ilmenita, cromita, rutilo como fenocristales dentro de los granos de magnesita y palygorskita.

En general, mineralógicamente la muestra es representativa del yacimiento, sólo que está menos dolomitizada y tiene mayor contenido de arcillas que otras muestras lo cual está en correspondencia con el elevado contenido de SiO<sub>2</sub> y menor contenido de CaO.

Desde el punto de vista de asociación de los minerales, se observó un entrecrecimiento muy fino entre la magnesita y la arcilla, portadora mayoritaria de SiO<sub>2</sub>. El estimado la composición mineralógica es:

Magnesita	Poligorskita	Dolomita	Cuarzo	Otros Minerales
55%	30%	10%	2%	3%



## Experimentación.

Mediante los experimentos realizados a escala de laboratorio en un reactor de 1 L de capacidad, se determinaron las condiciones óptimas de operación determinándose el efecto de las variables que rigen el proceso mediante el uso de diseños factoriales, se determinó el comportamiento de las impurezas en las etapas de calcinación y lixiviación. También se evaluó experimentalmente las condiciones de tiempo y temperatura en la etapa de precipitación de los licores de carbonato básico.

Las condiciones óptimas fueron determinadas a escala de laboratorio mediante la ejecución de un diseño factorial  $2^3$  a partir de cuya evaluación se determinó la varianza ( $\Gamma^2=2.25$ ), el error standard ( $\Gamma = 1.5$ ) y el error standard de los coeficientes ( $\Gamma_b= 0.5$ ), o partir de las repeticiones en el punto central.

Las variables y los niveles empleados se presentan en la tabla III. los rangos seleccionados se basaron en estudios previos. La optimización se realizó mediante el método de ascensión por el gradiente a partir del punto central.

**Tabla III. Variables y niveles empleados en el diseño  $2^3$**

Variables	Nivel		
	Mínimo	Medio	Máximo
X <sub>1</sub> Granulometría (mm)	-0.1	-0.35	-0.6
X <sub>2</sub> Temperatura de calcinación (°C)	700	775	850
X <sub>3</sub> Tiempo de lixiviación (mm)	30	45	60
Tiempo de calcinación:	1h		
Temperatura de lixiviación:	(ambiente)		
Presión parcial de CO <sub>2</sub>	0,4 MPa		

Los resultados de la evaluación se presentan en las tablas IV y V respectivamente.

**Tabla IV. Respuestas del diseño  $2^3$**

Experimento	1	2	3	4	5	6	7	8
Extracción (%Mg)	90.6	81.0	89.6	86.6	97.8	91.4	96.6	95.6





**Tabla V. Coeficiente del modelo.**

Coeficientes	bo	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>12</sub>	b <sub>13</sub>	b <sub>23</sub>	b <sub>123</sub>
Valor	89.9	-3.5	2.2	3.0	2.8	0.6	1.1	1.4

El modelo empírico que responde a la extracción de Mg es:

$$\epsilon_{\text{MgO}} = 69.4 - 48.7 G - 0.11t + 0.04T + 0.075Gt$$

Donde: G Tamaño de partícula

t Tiempo

T Temperatura de calcinación

La optimización se realizó mediante el método de ascensión por el gradiente, variando el tiempo y la temperatura a partir del punto medio, se fijó la granulometría a su valor mínimo debido a la disminución del tamaño de partículas en la calcinación.

Los valores óptimos determinados fueron a T = 775°C, t = 45 min. Con estos valores óptimos y los restantes parámetros se obtuvieron los productos cuyas características se presentan en las tablas VI y VII.

En la etapa de calcinación se determinó que debido a la naturaleza mineralógica de la muestra, es posible controlar en parte la disolución del CaO y en menor medida la sílice, el hierro y el aluminio ya que están asociados en fases mineralógicas cuyo comportamiento térmico difiere.

La magnesita descompone totalmente a 600-700 °C, la dolomita descompone el MgCO<sub>3</sub> a 700-750 °C y el CaCO<sub>3</sub> a 750°C – 850°C y la arcilla comienza su descomposición paulatina con pérdida de agua de constitución a 85°C hasta 830°C. Es por ello en parte que en el rango 700-800°C se garantiza la máxima extracción de MgO y la mínima extracción de CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### **Composición de los productos obtenidos empleando las condiciones óptimas de operación.**

La composición química de los productos obtenidos ( licor y carbonato precipitado) se presenta en las tablas VI y VII.

**Tabla VI. Composición Química (g/L) del licor producto de la lixiviación.**

Mg	Ca	Si	Fe	Al
4.8	0.16	0.011	0.018	0.0015

**Tabla VII. Composición Química (%) del Carbonato básico de magnesio precipitado**

MgO	SiO <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPI
41.5	0.1	0.09	0.001	0.001	56.94



### Investigación a escala ampliada [Hdez. AN y otros, , 1988].

Los experimentos para la investigación a mayor escala se realizaron con el objetivo de corroborar los resultados obtenidos a escala de laboratorio y determinar las características de filtración de la pulpa de lixiviación y la de carbonato básico de magnesio.

Estos experimentos se realizaron en su reactor con capacidad de 25 L. Se determinó experimentalmente que la granulometría óptima (-0.1 mm) se alcanzaba moliendo a 86% bajo 0.074 mm. Las pruebas se hicieron variando la temperatura de calcinación. Los mejores resultados se obtuvieron con las siguientes condiciones.

T Calcinación	750°C
P <sub>CO2</sub>	2 atm
T lixiviación	45 min.
Relación L/S	60:1
Granulometría	- 0.1mm

La composición química (%) del Carbonato básico de magnesio precipitado obtenido se presenta en la tabla VIII.

**Tabla VIII. Composición química (%) del carbonato de magnesio precipitado a escala de banco.**

MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPI
41.0	0.4	1.21	0.08	0.04	55.06%

En estas pruebas se determinó, que cuando se utiliza agua con cierto contenido de dureza, el carbonato de calcio contenido en el agua coprecipita como impureza contaminando el producto final.

A partir de los resultados de estos experimentos se realizó el balance de materiales y energía en el proceso global, se realizó la tarea técnica para la producción de 25 000 tpa de MgO (61 000 tpa de carbonato de magnesio), se hizo la propuesta tecnológica para la innovación de un combinado de magnesita en las proximidades del yacimiento, donde existe la infraestructura (carretera, ferrocarriles, abasto de agua, electricidad, etc.) [Hdez. AN y otros, , 1989].

Los principales insumos en el proceso por t de MgO producidos fueron:

Mineral	–	3.1t
Agua	–	118.8 m <sup>3</sup> (sin tener en cuenta la recirculación)
Petróleo	–	0.941 t (Calcinando a muerte a 1500 °C el carbonato de magnesio)
Aire	–	14.5 m <sup>3</sup>
Electricidad	–	3.916x10 <sup>5</sup> kw/año.

### Descripción del proceso.

La calcinación de la materia prima en un horno rotatorio (700-850°C), quencheo del calcinado a 200°C y molienda en molino de bolas hasta 86% bajo 0,074 mm en circuito cerrado con un clasificador de espiral cuyo reboso pasa a lixiviación en autoclaves horizontales bajo presión de CO<sub>2</sub> (0,2 – 0,4 Mpa), seguido de la filtración en filtro prensa y depresuración. El licor de magnesio luego de precalentado (56°C) por intercambio con el licor de desecho caliente se lleva a ebullición (95-98°C) en reactores tipo cazuela mediante la inyección directa de los gases



de combustión de la calcinación de la materia prima y del carbonato básico de magnesio. La calcinación del carbonato básico se realiza en un horno rotatorio a temperatura entre 600-1600°C dependiendo de las características del mercado, con previo secado del mismo. En el proceso se aprovecha todo el calor residual de los gases de calcinación para calentar la solución en la etapa de precipitación. [ Hdez. AN y otros, , 1989. ]

### Evaluación del carbonato de magnesio:

El carbonato de magnesio obtenido fue evaluado para diferentes usos:

- Precursor de sinter de magnesita. [ Hdez. AN y otros, 2002 ]
- Precursor en la síntesis de espinela  $MgAl_2O_4$ . [ Hdez. AN y otros 2002, Hdez. AN y otros 2004 ]
- Precursor en la síntesis de cordierita. [ Hdez. AN y otros, 2002. ]
- Aditivo del petróleo [Bobes L, Hdez A N y otros, 2002]
- Material refractario para fundición [López D.C, 1988]
- Agente neutralizante en procesos ácidos (lixiviación del Ni) [Hdez A. N y otros, 2000]

Los resultados de las evaluaciones fueron positivos.

Además por sus características el carbonato puede ser usado como precursor de retardador de fuego, aditivo en la sal común, aditivo en cosméticos y perfumería otros [Kramer D. A 1998]

### Factibilidad económica- Propuesta inversionista.

Para la introducción de los resultados se propuso la inversión de un combinado de magnesita en el Municipio de Minas, Camagüey, donde se hizo la localización del terreno con la infraestructura necesaria para el transporte por carreteras y ferrocarril, abasto de agua y electricidad, etc. [Unión de Minería y sal, 1999]

Se requiere la apertura de la nueva cantera.

En la tabla IX se resumen los montos de la inversión

**Tabla IX. Resumen de los montos de la inversión [MINBAS, 2001]**

Concepto	UM	Construcción y Montaje	Equipos	Otros	Equipos Reposición	Total
Total	MCUP	86121	14025	2285	1182	26104
MLC	MUSD	8516	14025	2225	1182	25945

Las actividades previstas para la inversión son:  
Estudios Geológicos para ampliar las reservas  
Estudios Tecnológicos complementarios  
Proyecto de Mini-Planta  
Programa de Protección del Medio Ambiente.  
Estudio de Factibilidad  
Puesta en marcha



#### Producción:

Trituración y molienda de magnesita cruda

Magnesita semicalcinada

Carbonato básico de magnesio

Oxido de magnesio

Los principales indicadores económicos fueron:

	Moneda	
	Total	MLC
Período de recuperación (años)	2.9	2.9
VAN (12.5%)	7474	8874
TIR	23.7	25.0

Los indicadores económicos son positivos y permiten el mejor aprovechamiento del yacimiento Magnesita Redención.

Dada la magnitud de esta inversión y lo difícil que resulta acometerla por una de nuestras Empresas Nacionales, es recomendable la creación de una Empresa Mixta con Geominera S.A. y un socio extranjero que aporte el capital para la Dirección Integrada del Proyecto de inversión donde se determine la factibilidad de la misma y su ejecución.

#### Protección del Medio Ambiente

Las medidas de protección del medio ambiente para garantizar la sustentabilidad de la innovación se conciben en el monto para llevar a efectos las siguientes técnicas y/o procedimientos:

Línea Base

Diagnóstico

Pronóstico

Elaboración de medidas de mitigación

Solicitud de licencias ambientales

El proceso de lixiviación de la magnesita semicalcinada no genera residuales contaminantes, por lo que las medidas de mitigación deben estar dirigidas fundamentalmente a la explotación minera, y a la calcinación de la materia prima en la que se generan gases productos de la combustión y arrastre de polvo en esos gases, aunque debe tenerse en cuenta que, como principio básico del proceso tecnológico global, el reactivo ( $\text{CO}_2$ ) que se consume en la lixiviación es el procedente de los gases de combustión por lo que se concibe un sistema de limpieza de estos gases que incluye la recuperación del polvo arrastrado en los mismos.

En cuanto a las labores mineras, están establecidas las normas y deben cumplirse las medidas de mitigación contempladas en las mismas.

De forma general se puede establecer que desde el punto de vista ambiental, nuestro proceso es viable.



### **Posibilidades de mejorar los índices técnico-económico.**

- Se determinó experimentalmente, que es factible disminuir la densidad de la pulpa lixiviada hasta obtener una concentración de 8 g/l de Mg, reduciendo el volumen de pulpa a procesar. Esto es posible manteniendo la presión de descarga a  $P_{Co} = 1$  atm, para evitar la precipitación del magnesio en esta etapa.
- Se determinó experimentalmente que es posible el aprovechamiento de la presión de descarga del autoclave en la filtración a presión de la pulpa.
- Se ha valorado y resulta atractivo el empleo de un reactor de alta velocidad para simplificar el proceso y la operación de lixiviación.
- Se está evaluando la posibilidad de uso directo o de añadir valor al residuo sólido de la lixiviación, constituido fundamentalmente por arcillas alteradas (silicatos), algo de dolomita y poco cuarzo.
- Se estudia la posibilidad del empleo de nuevas técnicas, tales como la molienda de alta energía y las microondas en la calcinación de la magnesita, con vistas a reducir el consumo de energía en el proceso.

### **CONCLUSIONES**

1. La introducción de la tecnología para el procesamiento de la materia prima del yacimiento Magnesita Redención contribuye al desarrollo sostenible en la región de Minas, Camagüey al establecer los principios científicos-técnicos para la explotación de estos recursos, así como proporcionar las ventajas económicas y sociales derivadas de la misma y tomar en cuenta las medidas de mitigación ambiental que garantizan también el bienestar de las generaciones futuras.
2. El crecimiento y la diversidad de mercado del magnesio y su compuesto, tanto en Cuba como en el mundo han acelerado el desarrollo de investigaciones científico – técnicas para darle valor agregado (conocimientos) a los recursos del yacimiento Magnesita Redención, permitiendo así el uso racional de este yacimiento.
3. La tecnología de procesamiento de magnesita es viable técnico – económico y ambientalmente por lo que resulta atractivo al proyecto inversionista.
4. Existen alternativas que permiten mejorar los índices técnico-económicos por disminución del consumo de energía, disminución del volumen de pulpa a procesar, etc.

### **RECOMENDACIONES**

Dado el análisis de viabilidad técnica, económica y ambiental positivo y la magnitud de la inversión propuesta, se propone la creación de una empresa mixta con un socio extranjero que aporte el capital para iniciar el proceso inversionista.

### **BIBLIOGRAFIA**

- Programa Nacional de Desarrollo de Minerales Industriales. MINBAS, 2001, C de la Habana, Cuba.
- Propuesta Inversionista: Combinado de Magnesita en Minas, Camagüey, Departamento de Inversiones y Desarrollo de la Unión de Minería y Sal, 1991.
- Hernández Martínez A.N. Situación Tecnológica de la Unión Geominera. Taller de Minerales Industriales. Geominera Centro, 1999.



- Guerrero Almeida D. y otros. Propuesta del sistema de indicadores de sostenibilidad para la industria extractiva minera. Memorias del V Congreso Cubano de Geología y Minería, V Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. ISBN 959-7117-11-8, Sociedad Cubana de Geología, 2003.
- Rodríguez Romero M. Las Minas de Matahambre y la comunidad Geología-Minería. Memorias p123-129
- Montejo Serrano E. La Innovación Tecnológica como paleativo al impacto político, social y económico del cierre de la mina-planta de El Cobre. CIPIMM, 1999.
- Constitución de la República de Cuba. Editora Política. La Habana, 1992.
- Batista N. Notas tomadas en el seminario para los Doctorantes, CIPIMM, 2003.
- Hernández A. N. Beneficio de 3 muestras de magnesita del yac. Redención. CIPIMM, 1986.
- Hernández A. N. Revista Tecnológica No.2 ,Cuba 1992
- Hernández A. N. y Granda O. Tecnología para la obtención de MgO a partir de la magnesita Redención. II-39. CIPIMM; 1986.
- .Hernández A. N. y otros Pruebas a escala ampliada de la lixiviación de magnesita Redención con ácido carbónico. IT-88 CIPIMM, 1988.
- Hernández A. N. y otros. Tarea Técnica y ETE para la producción de 25 000 t/ año de MgO comercial a partir de la lixiviación de la magnesita con CO<sub>2</sub>. CIPIMM, 1989.
- López I. C. Tesis de diploma para la obtención del título de Licenciado Físico "Obtención de materiales ultrarefractarios de periclase a partir de magnesita nacional. Universidad de la Habana, 1988.
- Hernández A. N. y otros. Informe final Resultado 8. obtención de espinela cordierita y sus precursores para el desarrollo de composites a partir de fuentes nacionales. CIPIMM, La Habana, 2002.
- Hernández A. N y otros. Informe final Resultado 1. factibilidad de producción nacional de espinela a partir de fuentes nacionales. CIPIMM La Habana, 2004.
- Kramer D. A Mg Compounds in the USA More Than Magnesite. Industrial minerals M.p 45-53, 1998





## MINERALOGÍA DE LAS PUZOLANAS

**Dr.Lic. Antonio C. Rabilero Bouza**

*Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción. Calle 70 y Carretera de Casablanca, Rpto. Vía Túnel, Regla, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: [rabilero@occ.ciges.inf.cu](mailto:rabilero@occ.ciges.inf.cu)*

### RESUMEN

En este trabajo se presentan y discuten las características químicas y petrográficas de las puzolanas, tanto naturales como artificiales, relacionándose su propiedad de reaccionar con la cal y la magnesita a temperaturas ordinarias y en presencia de agua para formar productos similares a los de la hidratación del cemento Portland con el definido carácter ácido y las estructuras cristalinas de los minerales que constituyen estas rocas, utilizadas desde hace más de dos milenios en época de los antiguos romanos y hoy día de un modo vasto en la producción de cementos en todo el planeta.

De acuerdo con lo expuesto, las puzolanas naturales poseen composiciones químicas que las hacen caer dentro del campo de los feldespatos alcalinos en un diagrama de fases del sistema cuaternario Nefelina-Leucita-Anortita-SiO<sub>2</sub>, relacionándose la estructura compleja espacial de los tectosilicatos (estructuras de armazón) con las de ciertos minerales con actividad puzolánica como son las zeolitas, además de que estas estructuras cristalinas presentan elevada concentración de defectos estructurales y muy alta superficie específica interna, con distancias interplanares grandes que permiten la reacción puzolánica.

Además se analizan los factores mineralógicos y estructurales que caracterizan a las puzolanas artificiales como son el caolín y arcillas tratadas térmicamente, así como otros productos o subproductos de procesos térmicos como las cenizas de lignitos, esquistos bituminosos, etc.

### ABSTRACT

In this work are presented the chemical characteristics and petrografs of the pozzolanas, so much natural as artificial, being related their property of reacting with the lime and the magnesita to ordinary temperatures and in presence of water to form similar products to those of the hydrate of the cement Portland with the defined sour character and the crystalline structures of the minerals that constitute these rocks, used for more than two millennia in old Roman time, and nowadays in a vast way in the production of cements in the whole planet.

In accordance with that exposed, the natural pozzolanas possesses chemical compositions that make them fall inside the field of the alkaline moonstones in a diagram of phases of the quaternary system Nefeline-Leucite-Anortite-SiO<sub>2</sub>, being related the space complex structure of the tectosilicates (frame structures) with those of certain minerals with activity pozzolanic like they are the zeolites besides that these crystalline structures present high concentration of defects structural and very high internal specific surface, with distances interlatices that allow the reaction pozzolanic,

The mineralogical and structural factors are also analyzed that characterize to the artificial pozzolanas as they are the kaolin and clays tried thermally, as well as other products or by-products of thermal processes as the ashes of lignites, bituminous schists, etc.



## INTRODUCCIÓN

El término *puzolana* nos ha sido legado por una antigua localidad del Imperio Romano: *Puzzuoli* (o *Puteoli*), lugar hace más de dos milenios ya eran explotados los yacimientos minerales de origen volcánico para la producción del cemento necesario con destino a las construcciones de entonces, entre las cuales pueden citarse estadios, coliseos, acueductos, puentes, cisternas; así como muelles y diversas obras marítimas que han perdurado con éxito hasta nuestros días, desafiando con pleno éxito, junto con el transcurrir del tiempo, el ataque incesante de los agentes meteóricos, la acción destructiva del agua de mar y aún de los animales litófagos.

Las puzolanas han sido definidas como materiales que, carentes de propiedades cementicias y actividad hidráulica por sí solos, contienen constituyentes que se combinan con la cal a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, para dar lugar a compuestos permanentemente insolubles y estables que se comportan como conglomerantes hidráulicos /3/.

La definición anterior está dada por el empleo tradicional de las puzolanas en mezcla con la cal, o adicionadas al cemento Portland, para que de igual modo reaccione con la cal producto de las reacciones de hidratación de los silicatos cálcicos. Pero como se sabe, las puzolanas son capaces de reaccionar –bajo las mismas condiciones- con otras sales cálcicas y con la magnesia; así como –por lo menos las de naturaleza zeolítica- otros óxidos alcalinotérreos; siempre en presencia de agua y a temperatura ambiente u ordinaria.

La reacción de las puzolanas con la cal en presencia de agua da lugar a la formación de silicatos y aluminatos hidratados similares a los resultantes de la hidratación del cemento Portland, fundamentalmente tobermorita, así nombrada por la su similitud con el mineral homónimo descubierto por Heddle en 1880.

Esta capacidad de las puzolanas de reaccionar –fundamentalmente- con la cal y la magnesia en presencia de agua abarca tanto a las puzolanas naturales como a las artificiales, obtenidas estas últimas por lo general por medio de un adecuado tratamiento térmico de materiales naturales carentes de *actividad puzolánica*, como es el caso de las arcillas y esquistos calcinados; o también subproductos de procesos caracterizados por elevadas temperaturas como son las *cenizas volantes*, obtenidas de la combustión de carbones minerales y lignitos, y aún residuos de otros procesos industriales como son los residuos de la bauxita y los polvos de las chimeneas de hornos altos /3/, lo que veremos más adelante.

## CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS PUZOLANAS

Dado que las puzolanas son capaces de reaccionar con la cal para formar silicatos y aluminatos y aún aluminoferritas cálcicas hidratadas, es evidente que la composición química de aquellas será definidamente ácida, con un elevado contenido sílice, alúmina y óxido férrico, capaces de formar los compuestos ya mencionados. Tanto es así, que prácticamente todas las normas existentes establecen un contenido mínimo de 70% para la suma de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , limitando además el contenido de posibles componentes perjudiciales como el  $\text{MgO}$  y el  $\text{SO}_3$ . El carácter definidamente ácido de las puzolanas puede ser apreciado en la tabla I que se aprecia más adelante, donde se presenta la composición química de algunas de ellas.



Tabla I Composición química de diversas puzolanas naturales y artificiales.

Puzolanas naturales	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	P.P.I
1. Toba Manganese	58,50	19,93	4,52	7,31	2,07	4,27	11,06
2. Margarita	64,52	13,71	4,60	3,12	1,37	2,57	8,86
3. Toba Cristal	61,40	17,03	3,59	2,92	2,40	--	11,85
4. Najasa	62,00	10,00	3,42	6,10	1,22	--	14,61
5. Las Carolinas	57,9	14,8	5,0	6,8	1,2	1,96	12,5
6. Siguaney	66,2	11,5	2,6	5,2	1,7	2,90	--
7. Pedras Pretas (Portug)	43,55	16,89	11,21	6,28	4,14	5,90	12,41
8. San Antonio (C Verde)	49,61	20,30	2,27	1,89	1,68	11,41	12,82
9. Toba de Nápoles	54,68	17,70	4,08	3,66	0,95	9,81	9,11
10. Toba Eiffel	56,01	17,20	4,39	2,98	1,71	8,67	8,73
11. Trass Renano	54,6	17,0	3,8	3,8	1,9	9,0	10,1
12. Trass Rumano	62,5	11,6	1,8	6,6	0,7	2,9	13,9
13. Trass Selyp (Hungria)	55,5	16,2	5,7	3,1	1,1	1,35	7,3
14. Tierra de Santorin	63,2	14,2	4,9	4,0	2,1	6,5	4,9
15. Toba de Crimea	70,1	10,7	1,0	2,5	3,4	3,7	11,7
16. Riolita (USA)	65,7	15,9	2,5	3,4	1,3	6,9	3,4
17. Pumita (piedra pómez)	72,3	13,3	1,4	0,7	0,4	7,0	4,2
18. Gaize	79,6	7,1	3,2	2,4	1,0	--	--
19. Trípoli	83,1	8,2	2,7	1,4	1,1	0,2	--
20. Diatomita	86,0	2,3	1,8	--	0,6	0,4	--
<b>Puzolanas artificiales</b>							
21. Ceniza volante de carbón bituminoso	41,0	21,5	20,5	6,5	1,5	0,6	3,5
22. Ceniza volante de lignito	32,4	16,5	7,5	27,5	8,0	2,6	1,7
23. Arcilla calcinada	58,2	18,4	9,3	3,3	3,9	3,9	1,6
24. Metacaolín*	55,0	40,0	0,6	0,1	--	1,2	1,0
25. Humo de sílice*	92,0	3,0	1,0	0,7	--	1,5	1,0
26. Residuo de catalizador*	55,0	38,0	0,4	0,3	--	0,3	4,0

Nota: De la 1 hasta la 6 son puzolanas cubanas zeolitizadas con excepción de la 3 que es vidrio volcánico prácticamente inalterado. El asterisco (\*) indica valores característicos y no corresponden a los resultados del análisis químico de muestras en particular y han sido tomados de Pacewska et al /12/.

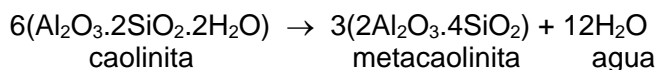
Como se puede apreciar en la tabla anterior, la suma de los componentes ácidos (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) es superior a 70% en todos los casos, lo cual es propio de los silicatos y aluminosilicatos y requerimiento esencial para la actividad puzolánica. Es decir, desde el punto de vista termodinámico y químico la única posibilidad de formar silicatos y aluminatos hidratados es a partir de minerales con un elevado contenido de estos componentes ácidos, lo cual de por sí es un requisito necesario, pero no suficiente; por cuanto muchos minerales de carácter francamente ácido no poseen actividad puzolánica; o sea, no reaccionan con la cal en presencia de agua a temperatura ambiente.



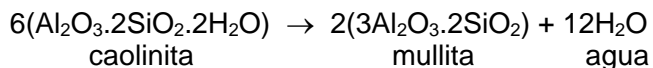
En realidad, la actividad puzolánica requiere un elevado carácter ácido de las mismas; no obstante lo cual, ello no implica que posean actividad puzolánica. De hecho, prácticamente la inmensa mayoría de los silicatos naturales cristalinos no poseen actividad puzolánica: es decir, no son puzolanas y tan solo adquieren tal propiedad después de un tratamiento térmico adecuado, tal como ocurre con las arcillas, las micas y el caolín. En el caso de las cenizas volantes el tratamiento térmico lo reciben durante la combustión de los carbones y lignitos, que dan lugar a productos mayormente amorfos, aunque si las temperaturas de combustión o posteriores a ésta son muy elevadas pueden formarse productos cristalinos inactivos.

Este tratamiento térmico a los referidos silicatos da lugar a la transformación de la estructura cristalina en un proceso que implica la pérdida del agua de constitución y los grupos hidroxilos dando lugar a la formación de una estructura inestable /3, 15/ capaz de reaccionar con la cal y comportarse por ende como una puzolana. Es importante destacar que la temperatura a que ocurren estas transformaciones en arcillas, micas y el caolín ha de ser tal de modo que no de lugar a la formación de otros productos cristalinos y estables carentes de propiedades puzolánicas. La temperatura debe dar lugar a la formación de una estructura desordenada y por tanto inestable y en consecuencia no debe sobrepasar ciertos valores, propios para cada mineral capaz de ser activado térmicamente.

Ejemplo de esta activación térmica de un mineral carente de propiedades puzolánicas es la transformación del caolín en metacaolín a temperaturas del orden de los 580°C. Veamos:



Si la temperatura de descomposición de la caolinita es superior, esta se transforma en una espinela cúbica más sílice amorfa a los rayos X, pudiendo llegar –si la temperatura es lo suficientemente alta- hasta la formación de mullita y sílice cristalina (tridimita) que es lo que ocurre en los procesos de producción de artículos cerámicos hechos de caolín /e/. La reacción general sería la siguiente:



La mullita no tiene ninguna actividad puzolánica, mientras que el metacaolín –de muy alta superficie específica- es una de las puzolanas más activas de que se dispone hoy día en el mercado para la producción de hormigones de altas resistencias (del orden de 50 Mpa y superiores), producto comparable al humo de sílice utilizado con igual fin.

En el caso del humo de sílice, se trata de un subproducto de ciertos procesos industriales (producción de ferrosilicio, por ejemplo) caracterizado porque el SiO<sub>2</sub> –su constituyente principal- es completamente amorfo y los tamaños de las partículas son del orden de 0,01 µm; es decir, coloidales; lo cual trae por consecuencia una superficie específica muy elevada, con valores hasta de 30 m<sup>2</sup>/g.

Como hemos visto, las puzolanas artificiales se caracterizan por su elevado carácter ácido y una estructura muy desordenada y reactiva –si es cristalina- o por ser amorfa, además de una elevada superficie específica que contribuye a la reactividad de cualquier sólido, por cuanto la energía superficial de los sólidos es mucho mayor que en el interior de los cristales debido a que las partículas iónicas en el interior del sólido están rodeadas de partículas vecinas y la resultante de las fuerzas que rodean a dicha partícula es prácticamente cero, y es evidente que en la superficie las partículas no están compensadas, dado que estas fuerzas que actúan en la



superficie se compensan por la compresión de la capa superficial, lo que provoca que la superficie se encuentre en estado elástico y tensionado. En este sentido, la trituración y/o molienda (en general la disminución del tamaño de partícula) de un sólido cualquiera aumenta su reactividad porque aumenta la superficie específica además de provocar el surgimiento de numerosos defectos y estados tensionales en las partículas.

Estas consideraciones acerca de las causas de la actividad de las puzolanas artificiales obtenidas por activación térmica; es decir: carácter francamente ácido, estructuras amorfas o muy desordenadas y alta superficie específica; son idénticas para las puzolanas naturales, por cuanto las mismas están constituidas básicamente por sustancias vítreas (amorfas) y en el caso de minerales con estructuras cristalinas definidas –como es el caso de las zeolitas- presentan grandes espacios interplanares que le confieren una muy elevada superficie específica interna además de una elevada concentración de defectos estructurales, todo lo cual trae como consecuencia una elevada reactividad de estos minerales. Tal es el caso de las tobas zeolitizadas cubanas utilizadas como puzolanas en la industria del cemento, las cuales están constituidas básicamente por zeolitas y vidrio volcánico, además de otros silicatos, fundamentalmente tectosilicatos y cuarzo, así como montmorillonita producida en el proceso diagenético de alteración del vidrio volcánico original.

## **CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LAS PUZOLANAS**

Salvo las puzolanas organogénicas y formación sedimentaria, las restantes puzolanas naturales están constituidas por rocas de origen volcánico y en consecuencia, la composición y clasificación de dichas puzolanas dependerá de la composición del magma a partir del cual se hayan formado, además de tener en cuenta los posibles procesos de enfriamiento y deposición de dichos magmas y las ulteriores transformaciones que haya experimentado.

Durante las erupciones volcánicas, las lavas producidas serán tanto más viscosas cuanto mayor sea su acidez, por cuenta fundamentalmente del contenido de sílice, aunque la temperatura de estos magmas influyen en la fluidez y movilidad de los mismos. Las lavas viscosas, de composición media hasta ácida –muy viscosas- provocan violentas explosiones durante las cuales son lanzadas a la atmósfera grandes cantidades de vapor, gas y cenizas a muy altas temperaturas, así como lava incandescente que se solidifica lentamente en contacto con el aire. Los fragmentos menores: ceniza, lapilli y arena volcánica, se enfrían bruscamente en el aire y quedan en estado vítreo. Este vidrio volcánico procedente de volcanes del tipo etna-vesubiano (lavas medianamente ácidas) y del tipo peleano (lavas muy ácidas) es el que dará lugar a las tobas con actividad puzolánica. Los volcanes del tipo hawaiano se caracterizan por una lava fluida de composición básica –basáltica- escasa de gases y alta temperatura, que no dan lugar a la formación de rocas con ulterior actividad puzolánica. Es decir, la producción de cenizas, arenal y lapilli de los volcanes del tipo etna-vesubiano y peleano constituyen la base de las puzolanas naturales de origen volcánico /7, 8, 9/.

### **Las puzolanas naturales**

Los numerosos reportes de estudios petrográficos y mineralógicos, tanto por métodos microscópicos como por medio de la difracción de rayos X y otras técnicas, indican que las puzolanas naturales de origen volcánico están constituidas básicamente por vidrio no alterado y complementariamente por zeolitas o viceversa, además de la presencia minoritaria de otros minerales tales como feldespatos (principalmente alcalinos), cuarzo, piroxenos y otros minerales eruptivos; a los cuales se asocian productos de procesos de alteración ulteriores tales como micas y arcillas /5, 9, 10, 13 /, aunque el cuarzo por medio de la acción de aguas termales



y ácidas puede dar lugar a la formación de productos hidratados amorfos con actividad puzolánica, tales como las geiseritas /5, 7/. Desde este punto de vista, solo el vidrio volcánico posee tal actividad o dará lugar –mediante los procesos de alteración correspondientes- a otros minerales con actividad puzolánica: las zeolitas. Las rocas eruptivas cristalinas; o sea, que contienen minerales cristalizados, tales como feldespatos, andesitas, basaltos, etc., no tienen actividad puzolánica y su ulterior metamorfismo –incluso hidrotérmico- conduce a la formación de arcillas y minerales micáceos que no poseen actividad puzolánica, tal como se ha señalado más arriba /9, 13/.

Esto nos lleva a considerar que la actividad de las puzolanas de origen volcánico es debida al vidrio volcánico no alterado y/o las zeolitas producto de la alteración del mismo. De hecho, las investigaciones de Utada al respecto han demostrado la existencia de una secuencia de formación de las zeolitas a partir del vidrio, estructurándose una secuencia por zonas en sedimentos del Neógeno en orden descendente /13/.

Vidrio fresco → clinoptilolita-mordenita → analcima-heulandita → laumontita →  
→ zonas de albita

En este sentido es importante hacer notar que las puzolanas naturales de origen volcánico tienen una composición química que las ubica en el campo de los feldespatos – fundamentalmente alcalinos- lo cual tiene una implicación notable dado que estos tectosilicatos /3, 5/ o si se prefiere aluminosilicatos con estructura de armazón, poseen la estructura cristalina más compleja espacialmente de todos los silicatos, dentro de la cual se inscriben también las zeolitas; razón por la cual se nos muestra otra vez el factor estructural –asociado al factor químico- como elemento esencial de la actividad puzolánica.

En el sistema  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{-KAlSi}_2\text{O}_6$  (Nefelina-Sílice-Anortita-Leucita) (ver figura 1) las puzolanas quedarían casi exclusivamente en el campo de los feldespatos alcalinos, mas bien hacia la frontera del campo de la leucita y la nefelina; aunque no se puede descartar la existencia de puzolanas con composiciones químicas que las hagan caer dentro de esos campos. Así mismo, es importante hacer notar que existe la posibilidad –por lo menos teóricamente- de que algunos feldespatos alcalinos de muy baja cristalización y elevada concentración de defectos en la estructura cristalina puedan presentar determinada actividad puzolánica, acentuada por una molienda intensa y efectiva que de lugar a un producto de elevada superficie específica. Aunque una excepción interesante lo constituye la paligorskita, hidrosilicato de magnesio perteneciente al grupo de la serpentina-caolinita que posee actividad puzolánica /13/. En cuanto a las puzolanas cubanas, estudios realizados /2, 4/ en los yacimientos de puzolanas de la mitad oriental de la isla han mostrado que los mismos están constituidos básicamente por mordenita o clinoptilolita, y asociaciones de ambas zeolitas, con la excepción del yacimiento de Las Margaritas, en el norte de la provincia de Camagüey, para el cual se reporta la presencia de analcima acompañada de cuarzo; no obstante lo cual se ha encontrado una importante presencia de heulandita en el yacimiento de Carolina, a 3,5 km del extremo noroeste de la bahía de Cienfuegos. En cuanto a la denominada Toba Manganeseo, proveniente del yacimiento de Palmarito de Cauto, a unos 40 km al noroeste de Santiago de Cuba, el exhaustivo estudio del yacimiento ha demostrado la existencia de zonas con predominio de mordenita, e incluso la presencia mucho menos frecuente de clinoptilolita asociada a la mordenita, reportándose como minerales accesorios minoritarios plagioclasas y granos aislados de magnetita y hematita, e incluso la presencia de carbonatos /11/.





Al igual que en otros, en el yacimiento de Palmarito de Cauto se aprecia que las zeolitas más próximas a la superficie son apreciablemente más cálcicas, aumentando el contenido de sodio con la profundidad, lo cual puede ser explicado por la acción de las aguas de escurrimiento ricas en carbonato de calcio, en un posible proceso de metasomatismo de intercambio del sodio por el calcio. Más adelante (ver tabla II) se presenta los resultados del análisis por difracción de rayos X (diagrama de polvos) para una muestra de Toba Manganese utilizada en detalladas investigaciones sobre cementos puzolánicos, en la cual se aprecia la presencia mayoritaria de mordenita y de clinoptilolita en la roca.

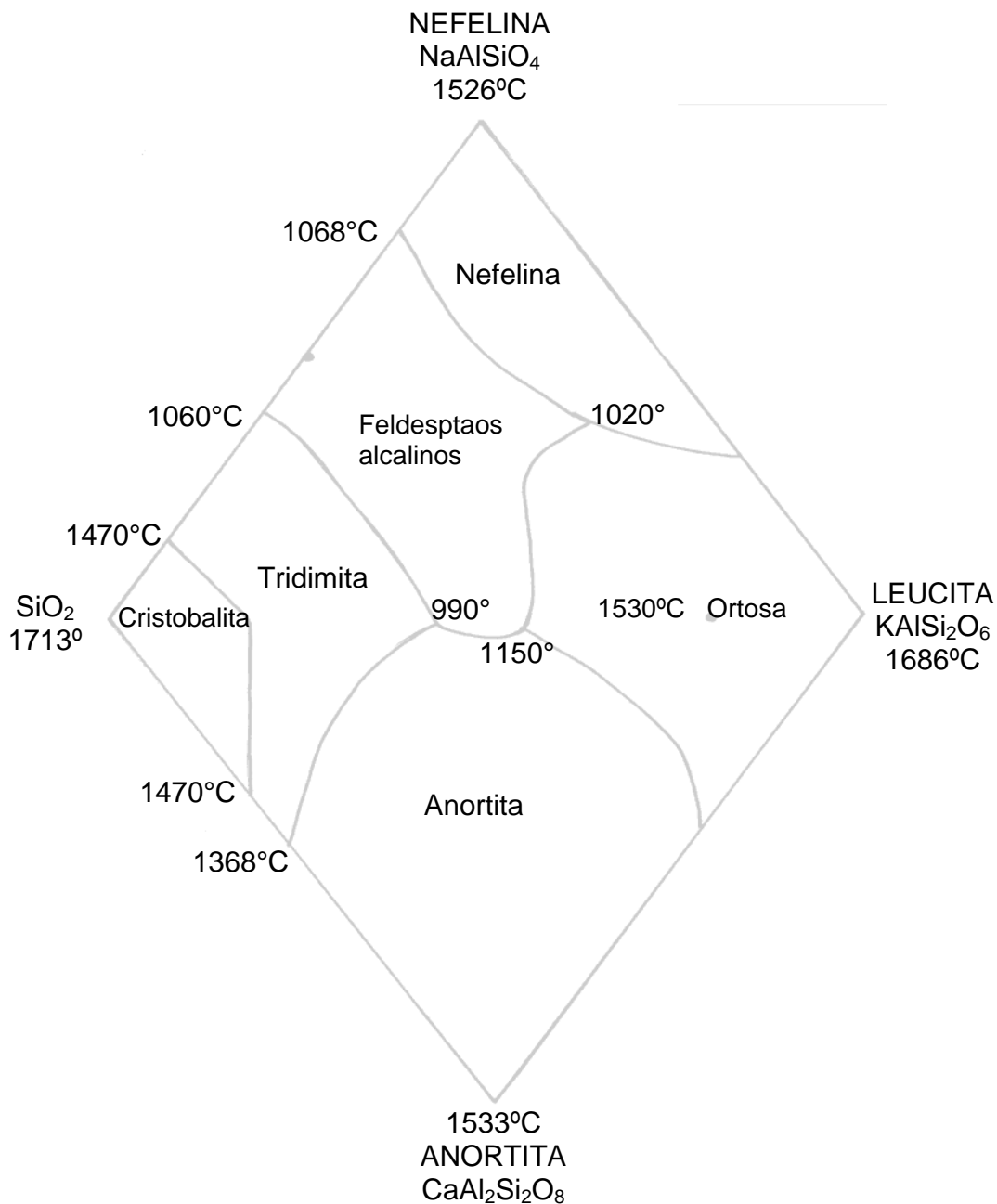




Figura 1. Diagrama para el sistema  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8\text{-KAlSi}_2\text{O}_6$  (Nefelina-Sílice-Anortita-Leucita)

Tabla II Resultados del análisis por difracción de rayos X de algunas puzolanas cubanas.

Toba Manganeseo			Mordenita		Mordenita – Ca		Clinoptilolita		Heulandita	
d (Å)	I est	Fases	d (Å)	I est	d (Å)	I est	d (Å)	I est	d (Å)	I est
11,5	2		13,7	5	13,4	3				
8,9	7	c, m	9,10	9	9,10	8	8,92	10	8,93	10
7,4	3								7,96	1
7,09	1									
6,47	3	m	6,61	9	6,61	8				
5,75	1	m	6,38	4						
5,30	1		6,10	5			5,15	1	5,06	1
4,49	4	m	5,79	5			4,65	1	4,62	1
4,43	2								4,44	1
4,25	1		4,53	8	4,54	5				
3,98	5	m, c					3,964	6	3,97	2
3,86	1	m, c	4,00	9	4,00	6	3,897	6	3,88	2
3,73	2	c?	3,84	6	3,82	6	3,74	1		
3,60	1									
3,46	9	m	3,48	10	3,48	10	3,419	2	3,42	1
3,37	4	m	3,39	9	3,39	4			3,40	1
3,20	8	m	3,22	10	3,22	10	3,168	1		
3,05	2						3,119	1		
2,92	10	m, c					2,974	8	2,96	4
2,88	2	m?	2,896	6	2,89	2				
2,84	3		2,560	4	2,56	3	2,793	1	2,80	1
2,56	1	m	2,522	5			2,728	3	2,71	1
2,51	2	m							2,51	1
2,38	1									
			2,047	4						
			2,019	4						
					1,885	2				

En la tabla anterior, los resultados para la Toba Manganeseo han sido publicados con anterioridad /11/, mientras que el correspondiente a la mordenita ha sido tomado de Harris y Brindley, mientras que la mordenita cálcica de Ames y Sand, y la heulandita de Regnier; en todos los casos reportados en la Cartoteca ASTM dedicada a los patrones de difracción de rayos X de minerales.

### Las puzolanas artificiales



Las propiedades particulares de las puzolanas artificiales dependerán, necesariamente, de los materiales de partida –su composición química y estructuras- además de las condiciones en que transcurra el proceso de activación térmica: temperatura y tiempo de tratamiento.

Como ya hemos visto en caso de arcillas tratadas térmicamente, se intenta obtener una estructura amorfa o cuasi amorfa, o por lo menos lo más desordenada posible que le permita una reactividad elevada frente a la cal, razón por la cual la presencia de compuestos cristalinos estables en estas puzolanas empobrece su capacidad de reaccionar con la cal. Si las temperaturas de tratamiento de las arcillas son muy altas (del orden de las necesarias para la obtención de productos cerámicos de buena calidad) se obtienen productos cristalinos tales como cuarzo, microclina, hematita, mullita, mica, etc.

En cuanto a las cenizas volantes procedentes de la quema de lignitos tienen ciertas propiedades hidráulicas por sí solas, lo cual se explica a causa del elevado contenido de cal en estos materiales, lo cual conduce a la presencia de algunos silicatos cálcicos y de cal libre, lo cual las asemeja a las cales hidráulicas; mientras que en algunos casos el elevado contenido de azufre se traduce en la presencia de sulfato de calcio anhidro (anhidrita) que posee propiedades aglomerantes. Además de estas fases minerales cristalizadas, en dependencia de la composición química y las condiciones de combustión, estas cenizas volantes presentan cantidades variables de material amorfo (vítreo) que dado su carácter ácido se comporta como una puzolana, a lo cual se agrega la posible presencia de metacaolín (con actividad puzolánica), los aluminatos cálcicos (hidráulicamente activos); así como otras fases carentes de actividad puzolánica o hidráulica, tales como cuarzo, mullita, plagioclasa, lucita, ortoclasa, magnetita, hematita, carbonatos, cal, magnesita, etc /3, 6/.

En los esquistos bituminosos las propiedades dependen de los mismos factores, reportándose en la literatura que la temperatura óptima para la destilación de estos esquistos se encuentra en el intervalo de 80-850°C, puesto que temperaturas superiores han de provocar el paso del estado amorfo al cristalino de la sílice y aún de otros materiales arcillosos. En estos esquistos es posible además esperar la presencia de cuarzo, silicatos monocálcico y dicálcicos, gehlenita, mullita, anortita, etc

En cuanto a catalizadores sólidos residuales del craqueo catalítico del petróleo, se ha destacado para un compuesto constituido esencialmente de sílice y alúmina /12/ que posee una estructura similar a las zeolitas, aunque posiblemente muy desordenada que pueda llegar a ser parcialmente amorfa a la difracción de los rayos X, factores que contribuyen –junto con una superficie específica muy alta, propia de estos catalizadores- a la actividad puzolánica descubierta para este tipo de material, lo cual abre una perspectiva interesante de encontrar un destino adecuado a tales desechos.

## CONCLUSIONES

Sobre la base de los diversos aspectos discutidos a lo largo de este trabajo, es posible establecer las siguientes conclusiones:

La actividad puzolánica de diversos materiales, tanto naturales como artificiales, está dada por un carácter marcadamente ácido del material así como estructuras vítreas o amorfas, o en su lugar estructuras cristalinas muy abiertas y/o marcadamente desordenadas, con una elevada porosidad interna como es el caso de las zeolitas y minerales afines; aunque una intensa conminución puede coadyuvar al incremento de la actividad por cuenta de los daños estructurales y la elevación de la energía superficial de las partículas sólidas.



## BIBLIOGRAFÍA

- Brindley, G.W. et al, 1967: "Kinetics and mechanism of dehydroxylation process.I. Temperature and vapor pressure dependence of dehydroxylation of kaolinite". Amer. Mineralogist; 52: 84-91.
- Brito, A. Y D.P.Coutin, 1991: "Sobre la génesis compleja diagenético-hidrotermal de la zeolitización eocénica en Cuba oriental". Zeolitas 91. La Habana, 8-12 de Abril de 1991.
- Calleja, J., 1969: "Las puzolanas". Monografía del I.E.T.C.C., N° 281, 95 p.
- Coutin, D.P., B. Alexeiev y A. Brito, 1975: "Los yacimientos de puzolanas naturales de Las Villas, Camagüey y Oriente". Serie Geológica N° 24, Academia de Ciencias de Cuba, 24 p.
- Dana, "Manual de Mineralogía" de: Tercera edición, reimpresso en Cuba, 565 p. Año no indicado en la impresión.
- Frías M., Sánchez de Rojas, M<sup>a</sup> I. y Rivera, J., 2002: Estudio del comportamiento puzolánico y calorimétrico de productos y desechos industriales para uso como puzolanas naturales calcinadas en la fabricación de cementos Portland CEM/A y B-Q. Cemento Hormigón N° 837, pp12-21.
- Gorshkov, G. y A. Yakushova, 1970: "Geología General". Editorial Mir, Moscú, 624 p.
- Huang, W.T.: "Petrología". Edición Revolucionaria, 521 p. Año no indicado en la impresión.
- Mason, B., 1966: "Principles of Geochemistry". Wiley International Edition, 307 p.
- Milovski, A.V. y O.V. Konov, 1988: "Mineralogía". Editorial Mir, Moscú, 315 p.
- Muñoz, J.A. y A.C. Rabilero, 1975: "Actividad puzolánica. Evaluación de una toba cubana". Revista Tecnológica; 12 (5): 47-58.
- Pacewska, I. et al, 2003: "Utilización de los catalizadores residuales de un lecho fluidizado de craqueo catalítico (FBCC) como un buen microfiller activo de los materiales cementicios". Cemento Hormigón N° 848: 18-32.
- Rabilero, A.C., 1988: "Las Puzolanas. Cinética de Reacciones". Editorial Oriente, Santiago de Cuba, 114 p.
- Rabilero, A.C., 1998: "Contribución a la geología de las puzolanas". Cemento Hormigón, N° 781: 129-138.
- Rabilero, A.C., 2000: "Cinética y Mecanismo de Reacciones en Estado Sólido". Monografía no publicada, 162 p.



## APROVECHAMIENTO DEL YACIMIENTO DE BENTONITA “MANAGUA” PARA LA ECONOMÍA NACIONAL

**Emilio Montejo<sup>(1)</sup>, Mirtha Frómeta<sup>(1)</sup>, María C. Rivas<sup>(1)</sup>, Juan Estrada<sup>(1)</sup>,  
Ruben Alcalá<sup>(1)</sup>, Juan Berto<sup>(1)</sup>, Alberto Rodríguez<sup>(1)</sup>, Carlos R. Montero<sup>(1)</sup>,  
Andrés García<sup>(1)</sup>.**

<sup>(1)</sup>, Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica. Carretera, Varona #12028 Km 1 ½, Capdevila, Boyeros, Ciudad de La Habana, Cuba. Teléfonos: 44-7187/57-8072/57-8360, Fax: (537)57-8082 e-mail: [cipimm@ip.minbas.cu](mailto:cipimm@ip.minbas.cu)

### RESUMEN

La bentonita por sus propiedades es uno de los minerales de mayor cantidad de empleo en la industria, agricultura y otras ramas productivas. Durante los últimos 5 años el CIPIMM ha desarrollado innumerables trabajos con vista a revitalizar la producción de Bentonita del yacimiento “Managua” para su aprovechamiento por la economía nacional.

Entre los trabajos desarrollados se destacan el desarrollo de tecnologías novedosas de presecado y tratamiento “in situ”, que permiten aprovechar mejor las capacidades instaladas en la planta de procesamiento vía seca y obtener un nuevo producto (bentonita activada ácida) que puede emplearse como sustituto de las tierras decolorantes de importación, así como obtener bentonita natrificada de alta calidad a un costo de producción más bajo. El procedimiento para obtener este último producto está introducido desde el año 2001.

Además se obtuvieron nuevos productos a partir de la bentonita “Managua” de alto valor agregado entre los que están la bentonita grado farmacéutico que sustituye importaciones y el producto Cama de Mascotas que puede abrirse paso en el mercado interno en divisas y moneda nacional y constituir en el futuro un rublo exportable.

También se demuestra la posibilidad de uso industrial de la bentonita del tipo II, con lo que se elevan las reservas industriales de este yacimiento en un 21 %.

Como resultado de la aplicación a la práctica de estos resultados se estima un efecto económico total de 728.4 Mpesos y de ellos 549.6 MUSD. Para lo cual se requiere de comenzar los procesos de transferencia tecnológica y de mercadeo que permita recuperar los mercados tradicionales y desarrollar el de los nuevos productos.

## NEW TECHNOLOGIES AND PRODUCTS FOR THE EXPLOITATION OF THE “MANAGUA” BENTONITE DEPOSIT FOR OUR NATIONAL ECONOMY.

### ABSTRACT

Bentonite, due to its properties, is one of the most used minerals in industry, agriculture and other productive branches. During the past 5 years, CIPIMM has developed innumerable works to revitalize Bentonite production from the “Managua” deposit for its exploitation for the national economy.

Among the works developed can be underlined the new technologies of pre-drying and treatment “in situ”, which permit to take better advantage of the capacities installed in the dry-way processing plant and obtain a new product (acid activated bentonite). This product can be used as a substitute for the decoloring earths which are imported now, and to obtain a natrified bentonite of high quality at a lower production cost. The proceeding to obtain this last product is working since 2001.

Besides, other new products based on “Managua” bentonite were obtained, with high added value such as the pharmaceutical grade bentonite, which substitutes imports and the product “Cat Litter”, that can gain a place in the national market in USD and national currency and constitute a future export supply.



It also demonstrates the possibility of the industrial use of bentonite type II, which increases the industrial reserves of this deposit in a 21%.

## INTRODUCCIÓN.

La bentonita por sus propiedades es uno de los minerales de mayor cantidad de empleo en la industria, agricultura y otras ramas de la economía. Nuestro país posee varios yacimientos de bentonita ubicados en la región occidental, central y oriental, aunque el mas explotado y de donde se obtiene la bentonita de mejor calidad es el yacimiento "Managua", ubicado en la provincia Ciudad de la Habana. El mineral es procesado en la planta "Gustavo Machín" ubicada en Jaruco y perteneciente a la Empresa Geominera Habana - Matanzas.

En la década de los 80 se llegó a producir casi 10.0 Mt/año de bentonita natrificada con destino al consumo nacional principalmente la industria metalúrgica, del petróleo, pinturas, etc. Sin embargo con las dificultades económicas derivadas del periodo especial, esta producción ha ido decreciendo hasta niveles insignificantes.

Basado en la situación anterior el CIPIMM ha laborado en los últimos años en el desarrollo de tecnologías de producción mas eficientes acorde con la planta en operación (vía seca), que permitieran obtener una bentonita de alta calidad, con vista a recuperar los mercados tradicionales y la exportación, así como el desarrollo de nuevos productos de alto valor agregado. [1][2][3][4]

## USOS DE LA BENTONITA.

Se conocen con el nombre de Bentonitas ó Arcillas Bentoníticas a un grupo de minerales del grupo de las Montmorillonita entre los que se encuentran la Beidelita, la Montmorillonita, la Nontronita, etc. La propiedad más notable es su gran capacidad de hinchamiento en presencia de agua y perderla gradualmente al calentarse. Esta gran capacidad de absorción de estos minerales hace posible la extracción de impurezas en suspensión y como decolorantes por lo que se emplean mucho en la industria. Otra propiedad muy importante consiste en la gran capacidad de intercambio de cationes.

En el caso de la Montmorillonita su composición química es muy variable dependiendo mucho del contenido de agua de constitución y es la siguiente:  $\text{SiO}_2$ : 48-56 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 11-22 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : > 5 %,  $\text{MgO}$ : 4-9 %,  $\text{CaO}$ : 0.8-3.5 % y más,  $\text{H}_2\text{O}$ : 12-24 %. Además se registran  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , etc.

Los criterios de clasificación utilizados por la industria se basan en su comportamiento y propiedades fisicoquímicas; así la clasificación industrial más aceptada establece tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento en agua. Según este criterio Patterson y Murray (1983) distinguen tres tipos principales:

- Bentonitas altamente hinchables o sódicas (Tipo Wyoming).
- Bentonitas poco hinchables o cálcicas
- Bentonitas moderadamente hinchables o intermedias

Las Bentonitas sódicas tipo Wyoming, son las de mayores capacidades de hinchamiento, intercambio catiónico, etc. por lo que las Bentonitas cálcicas siempre que se emplean en usos en que estas propiedades son importantes, se natrifican con carbonato de sodio





( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), aunque pueden emplearse otros aditivos como carboximetil celulosa (CMC), NaOH, etc.

Las Bentonitas cálcicas son preferibles para la activación ácida pues reaccionan mas fácilmente. Estas Bentonitas activadas se emplean en como decolorantes, absorbentes, etc.

En ocasiones se procede a someter a las bentonitas a procesos físicos y químicos que tienen por objeto potenciar algunas de sus propiedades para determinadas aplicaciones industriales. Desde el punto de vista industrial tienen gran importancia los procesos destinados a modificar el quimismo del espacio interlaminar, a dichos procesos se les denomina "Activación" (activación sódica y activación ácida).

La activación sódica se les realiza a las bentonitas cálcicas, tratándolas con carbonato de sodio, para obtener bentonitas sódicas, aunque pudieran emplearse otros agentes natrificantes como carboximetil celulosa (CMC), hidróxido de sodio, etc., realizándose en las condiciones apropiadas el intercambio del catión  $\text{Ca}^{+2}$  de la capa interlaminar por cationes  $\text{Na}^{+1}$ .

La activación ácida consiste en la adición de una mezcla de agua y ácido sulfúrico o clorídrico, (tras el secado y la molienda del material), seguida de agitación, filtrado, secado y pulverizado. Con ella se consigue la disolución de impurezas tales como calcita, el reemplazamiento de iones calcio (divalentes) en posición interlaminar por hidrógenos y la eliminación de iones Al de la capa tetraédrica y  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , Al y Mg de la capa octaédrica.

Mediante la activación ácida se consiguen cambios importantes en el mineral. Los bordes de las láminas de arcilla se abren y se separan aumentando la porosidad y el área superficial. Esta última aumenta con el tratamiento hasta un máximo más allá del cual tanto el área superficial como la capacidad de blanqueo caen progresivamente. Así mismo, aumentan la capacidad de intercambio iónico y la actividad catalítica. Las variaciones en el tipo de arcilla (granulometría y mineralogía) y en el tipo y grado de acidulación (tipo de ácido, temperatura, tiempo de contacto, proporción de arcilla, etc.) darán lugar a diferentes productos con diversas propiedades.

Otro tipo de tratamiento empleado es cuando los cationes de cambio inorgánicos de una esmectita son sustituidos por cationes orgánicos de cadena larga, tipo compuestos tetramonio o alquilamina, a esta arcilla se la denomina arcilla organofílica. Las arcillas naturales son organofóbicas; sin embargo, cuando son modificadas orgánicamente presentan afinidad por las moléculas orgánicas; por ello tienen importantes aplicaciones como adsorbentes de residuos orgánicos. Además son hidrofóbicas, adecuadas para su empleo en la fabricación de pinturas, como gelificantes de líquidos orgánicos, en lubricantes, etc.

Los principales usos de las Bentonitas son [6][7]:

- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| - Arenas de moldeo.     | - Absorbentes.         |
| - Lodos de perforación. | - Industria del cuero. |
| - Peletización.         | - Industria textil.    |
| - Absorbentes.          | - Pinturas.            |
| - Material de Sellado.  | - Puestas a tierra.    |



- Ingeniería Civil.
- Alimentación animal.
- Catálisis.
- Industria farmacéutica.
- Clarificación de vinos y jugos.
- Fabricación de jabones.
- Depuración y Clarificación de Aguas.
- Agricultura.
- Aislantes y Electrotecnia.
- Tintas.
- Lápices.
- Industria del azúcar.
- Productos de limpieza y conservación.
- Papel.
- Industria del caucho.
- Otros usos (detergentes, membranas osmosis inversa, etc).

## SITUACIÓN ACTUAL DE LA EXPLOTACIÓN DE BENTONITA EN EL PAÍS.

La casi totalidad de la producción de Bentonita se realiza en la Planta de Bentonita de la fábrica "Gustavo Machín", perteneciente a la Empresa Geominera Habana - Matanzas ubicada en la localidad de Jaruco en la provincia la Habana. El mineral que se procesa procede del yacimiento "Managua", ubicado en la provincia Ciudad de la Habana a 40 Km de la planta de elaboración. El mineral de este yacimiento es del tipo cálcico, por lo que es necesaria su natrificación que se realiza con carbonato de sodio (4 - 5 %). La producción se ha destinado siempre para el consumo nacional principalmente para moldes de fundición, en lodos para perforación de pozos de petróleo, rellenos, etc. En el año 2000 se transformó la sección de secado y clasificación de la Planta de Zeolitas de la fábrica "Gustavo Machín" con vista a producir Bentonita granulada para la exportación.

También en pequeñas cantidades se han explotado los yacimientos de "Chiqui Gómez" en Villa Clara que se procesa en la Planta de Remedios de la Empresa Geominera Centro y "Vado del Yeso" en la provincia de Granma, que se procesa en la Planta ubicada en la localidad de El Cobre y perteneciente a la Empresa Geominera Oriente.

La producción de los últimos años ha estado muy afectada (que llegó hasta casi 10.0 Mton/año en la década del 80) por la situación económica del país, que ha deprimido la actividad metalúrgica y en el caso del petróleo aunque la extracción se ha incrementado la calidad de la Bentonita se aleja de las especificaciones exigidas por el petróleo. La producción de los últimos años aparece en la tabla I. [1]



Tabla I. Producción de Bentonita durante los últimos años.

YACIMIENTO	Tipo de Producción	PRODUCCIÓN (M Ton)					
		1996	1997	1998	1999	2000	Promedio
"Managua"	Natrificada	3.0	2.4	1.8	1.4	2.2	2.2
"Chiqui Gómez" **	Natural	----	----	0.2	0.3	0.3	0.3
"Vado del Yeso" **	Natural	----	----	----	0.1	0.1	0.1
TOTAL		3.0	2.4	2.0	1.8	2.6	2.6

Desde el año 2001 a partir de la introducción de los resultados de la investigación de Presecado y Natrificación "In Situ" desarrollada en el CIPIMM [1], se pudo producir Bentonita Natrificada Granulada y Bentonita Natrificada Micronizada, de muy buena calidad, cumpliendo las especificaciones exigidas de hinchabilidad, grado coloidal, perdidas por filtración, etc para diferentes empleos. También se logró estabilizar e incrementar los niveles productivos de la planta.

Al margen de los problemas técnico - productivos - financieros que pueden limitar la producción, la demanda de bentonita es escasa y los posibles negocios de exportación que se concebían con la firma EUROMINERALS, no se materializaron. Por lo que se realizó una exploración del mercado nacional [5], que permitió determinar las posibilidades de empleo a corto mediano y largo plazo. En la tabla II aparecen los resultados de esa exploración que demuestra las potencialidades de nuestro mercado interno.

Como resultados mas importantes de esta exploración es que existe un mercado potencial a corto plazo para más de 6000 t de bentonita natrificada y de 600 t de bentonita activada ácida, que pudiera significar la reactivación económica de esta producción.

## TRABAJOS DESARROLLADOS POR EL CIPIMM.

Durante los últimos 5 años el CIPIMM ha venido trabajando intensamente con vista reactivar esta producción y en este sentido ha desarrollado los siguientes trabajos:

### Presecado y Natrificación "in situ" [1].

Las plantas de procesamiento existentes en el país tienen una tecnología vía seca, la cual no es de las mas eficientes. El "proceso de natrificación" se realizaba en el proceso de molienda del mineral, después de ser sometido al secado, por lo que en realidad existía solo una mezcla física entre el agente natrificante y la bentonita, pues la reacción de intercambio no se producía ó se producía a una escala muy pequeña en el producto final, lo cual afectaba su índices de calidad (hinchabilidad, grado coloidal, perdidas por filtración, rendimiento ponderal, etc.).

El procedimiento de presecado y natrificación "in situ" desarrollado por el CIPIMM y estudiado en los Mena tipo I de este yacimiento demostró que era posible obtener un producto de alta calidad, además era posible obtener dos calidades granulométricas de bentonita:

- Bentonita Natrificada Micronizada (Producto Tradicional).
- Bentonita Natrificada Granulada (Nuevo Producto).



Con este último se logró alcanzar los parámetros de calidad exigidos por clientes extranjeros para su empleo en la fabricación de Geomenbranas, para la impermeabilización de obras civiles e hidráulicas. Este negocio que no se pudo concretar fundamentalmente por discrepancias en los precios de compra del producto.

Los trabajos se desarrollaron en escala de laboratorio y en la planta industrial y entre los resultados más importantes se encuentran:

- La capacidad de procesamiento se elevó de 0.5 hasta 3.6 t/h.
- El rendimiento en peso del producto granulado se elevó en un 33 %.
- El índice de hinchabilidad promedio de la producción se elevó de 22 hasta 25 ml/2g (La exigencia es de 24 ml/2g).
- El consumo de combustible se redujo de 0.2 a 0.04 t/t de bentonita procesada.

Todo lo cual condujo a una reducción sensible de los costos de producción .

El obtener una bentonita de alta calidad permite ampliar fundamentalmente sus posibilidades de empleo a:

- La producción de bentonita granulada para la exportación (Nuevo Uso), para su empleo en la fabricación de Geomenbranas. El mercado pudiera estar muy por encima de capacidad productiva de la planta existente.
- La producción de jabones (Nuevo Uso), sustituyendo entre un 5-10 % de la viruta de jabón empleada en sus formulaciones, la que tiene un alto precio (500 USD/t). Representando un mercado inmediato de 500 - 800 t/año y con posibilidades de incremento en el futuro.
- La preparación de los lodos para la perforación de pozos de petróleo, para lo cual se debe demostrar que cumple los requerimientos de calidad exigidos por esta industria y recuperar este mercado que actualmente esta copado por firmas extranjeras que hacen este trabajo a CUPET por la modalidad de entregar las formulaciones de los lodos ya preparadas. Esto pudiera significar un mercado de 1200 t anuales.
- La preparación de moldes de fundición para usos en metalurgia, para lo cual siempre nuestra bentonita era muy apreciada y que representa un mercado potencial de al menos 300 t/año.

### **Aprovechamiento de la bentonita tipo II [4].**

Solo se habían estudiado el aprovechamiento de la bentonita del tipo I del yacimiento "Managua", que era la de mayor contenido de Montmorillonita y la que se ha explotado desde la apertura del yacimiento.

Sin embargo existen reservas importantes de la denominada tipo II, que hasta el presente no se venían explotando debido a su mayor contenido de impurezas. Como parte del Estudio Geológico Complementario del Yacimiento "Managua" se ejecutó el estudio del aprovechamiento de una muestra tecnológica aplicando la tecnología CIPIMM de presecado y natrificación "in situ" con lo que se demostró a nivel de laboratorio que es posible obtener bentonita natrificada de alta calidad con la mena del tipo II de este yacimiento, lo cual permite el aprovechamiento de la mena tipo II de este yacimiento y elevar las reservas industriales (medidas) en 156.4 Mt, que representa un incremento de



21 %. Se recomienda finalmente la ejecución de pruebas industriales ó semindustriales, que corroboren los resultados alcanzados a nivel de laboratorio.

### **Presecado y tratamiento ácido “in situ”.**

Uno de los empleos importantes de la bentonita cálcica es la obtención de bentonitas activadas por tratamiento ácido, la cual se emplea en procesos de decoloración de aceites y grasas, así como en catálisis. Los procesos estudiados anteriormente para la producción de Bentonita Activada por medio de ácido sulfúrico, se realizaba en reactores agitados a temperaturas de casi 100 °C. Las pruebas de uso realizadas dieron resultados muy positivos, pero para su implementación se requieren de inversiones de 0.5 MMUSD [8].

En Cuba se emplean en la industria de jabonería y perfumería en el blanqueo de sebo animal para la producción de jabón fino de tocador y en la industria alimenticia en la decoloración de aceites comestibles. Los consumos estimados están entre 600 - 650 t/año y todos estas tierras decolorantes son importadas a precios que oscilan ente 750 - 850 USD/t CIF Cuba.

Basado en los buenos resultados obtenidos con la tecnología de presecado y natrificación “in situ” y teniendo en cuenta que la Bentonita cálcica del yacimiento “Managua” reacciona frente a los ácidos como una base, se concibió la posibilidad de realizar el tratamiento ácido sobre la bentonita natural húmeda, después de ser removida en el yacimiento, lo que en vez de natrificarla con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  adicionarle ácido sulfúrico concentrado con lo cual se puede producir sin casi modificaciones en las instalaciones actuales.

Los resultados obtenidos demostraron efectos similares a los de la tierras decolorantes importadas cuando se emplean el doble de la dosis con bentonita activada ácida, pero el costo de producción se estima inferior a los de la bentonita natrificada (< 60 USD/t). Esto se basa en que los procedimientos de producción son similares a los de la bentonita natrificada y el reactivo a emplear (ácido sulfúrico concentrado) es mucho más barato y de producción nacional. Suponiendo la dosificación mayor estudiada (105 Kg de ácido/t min. seco) el gasto es de 6.30 USD/t, mientras que en la producción de bentonita natrificada es de 25.00 USD/t, por lo tanto el costo de producción debe ser inferior en casi 20 USD/t respecto al de la bentonita natrificada.

El mercado nacional se estima en casi 1200 t/año de bentonita activada ácida (Nuevo Producto) por la tecnología CIPIMM, considerando el doble de consumo por lo anteriormente explicado (ver tabla 2).

Estas investigaciones se ejecutaron en escala de laboratorio y ampliada, aunque las pruebas de uso solo se realizaron a nivel de laboratorio y se deben realizar a escala industrial.

### **Bentonita grado farmacéutico.**

Se elaboró en procedimiento para la producción de la bentonita grado farmacéutico en las instalaciones de la planta. Para la obtención de este producto de alto valor agregado, es necesaria la ejecución de algunas modificaciones en la planta.

Los resultados alcanzados demuestran que es posible empleando el procedimiento desarrollado por el CIPIMM, obtener una bentonita que cumple con los requisitos de la



farmacopea y con resultados muy positivos en las formulaciones de ungüentos y pomadas.

Los resultados alcanzados fueron:

- Hinchabilidad: 32 ml/2g.
- Absorción de agua Westinghouse: 328 %
- Grado Coloidal: 100 %.
- pH: 9.59
- Granulometría: 100 % bajo malla 325.
- En todos los casos la bentonita caracterizada química-física, tecnológica y microbiológicamente cumple con los requerimientos necesarios para su uso Cosmetológico, Médico y Veterinario.
- En los estudios comparativos que se realizaron con las bentonitas importadas (Porta-Clay y Eurotrade) se demuestra que cumple con los parámetros o especificaciones de calidad establecidos en Farmacopea para producciones farmacéuticas.
- Se obtuvieron formulaciones óptimas para la producción, demostrando la factibilidad y viabilidad de obtención de estos productos que satisfacen necesidades y elevan la calidad de vida de la población.

El mercado nacional se estima en casi 100 t/año de bentonita grado farmacéutico (Nuevo Producto) por la tecnología CIPIMM, la cual se puede producir de forma diferenciada dado su alto precio en el mercado (> 500 USD/t).

Las pruebas se ejecutaron tanto a nivel de laboratorio como en escala ampliada.

### **Producto Cama de Mascotas.**

Durante los últimos años la cría de mascotas se ha mantenido como un hobby en diversos países, lo que ha generado un mercado relativamente estable de productos denominados camas de mascotas. La Bentonita está compitiendo con otras arcillas absorbentes (sepiolita y paligorskita), como materia prima para la fabricación de lechos de animales. La demanda de bentonitas para este uso varía substancialmente de unos países a otros, así en Estados Unidos comenzaron a utilizarse a finales de los años 80, sin embargo en Europa el mercado es más complejo y su demanda mucho menor [5].

Existen antecedentes de estudios del empleo de Zeolitas como cama para animales [9]. El CIPIMM desarrolló un producto para Cama de Mascotas en base a minerales industriales cubanos con resultados preliminares muy satisfactorios, lográndose productos de calidad superior a productos extranjeros. En el se estudió el empleo de la Bentonita del yacimiento "Managua" en la elaboración de productos para Cama de Mascotas, en formulaciones con Zeolita de distintos yacimientos, obteniéndose un nuevo producto con cualidades que le aportan ambos minerales. Los productos de zeolita empleado (finos de ciclón y Zoad) constituyen excedentes de producción, por lo que su empleo constituye una ventaja adicional.

Al producto obtenido se le evaluó sus propiedades y los resultados fueron:

**Absorción de Agua Westinghouse:** 185 %.      **pH:** 9.46.





El producto logró mantener el efecto desodorante durante 10 días, no existiendo rechazo por parte de los animales. Es de significar las excelentes evaluaciones dadas por la cadena de tiendas Almiquí, especializada en productos para animales y la del Doctor en Veterinaria Basilio Szczypel Wowk.

Estos estudios se realizaron hasta escala de producción ampliada y se realiza una propuesta de flujo tecnológico con modificaciones mínimas en la planta de bentonita de Jaruco, pero que en una primera etapa se pudiera realizar de forma semiartesanal sin necesidad de cambio alguno.

El mercado nacional se estima en alrededor de 5 t (en el mercado en divisas), aunque en moneda nacional pudiera ser mas amplio. El precio de productos similares en el mercado internacional es de > 450 USD/t.

## EFFECTO ECONOMICO.

El efecto económico de los estudios realizados es el siguiente:

### Por aplicar la tecnología de presecado y natrificación “in situ”.

En la tabla III aparecen los costos de producción antes y después de aplicar esta tecnología a la producción, estos valores pudieran reducirse porque después se logró aun mayores incrementos en la capacidad de procesamiento y además la escala de producción en ese año fue muy reducido. Lo que aún mejor los resultados presentados.

Tabla III. Calculo de los ahorros en los gastos de producción por aplicar la tecnología de presecado y natrificación “in situ”, desarrollada por el CIPIMM.

Concepto	Unidad Medida	Valor
Producción estimada a corto plazo	t/año	6070
Costos Unitarios antes de aplicar la nueva tecnología	Total (Pesos/t)	83.99
	Divisas (CUC/t)	58.46
	MN (Pesos/t)	25.53
Costos Unitarios después de aplicar la nueva tecnología	Total (Pesos/t)	47.29
	Divisas (CUC/t)	35.01
	MN (Pesos/t)	12.28
Ahorro por aplicar la nueva tecnología.	Total (MPesos)	222.8
	Divisas (MCUC)	142.4
	MN (MPesos)	80.4

### Por aplicar la tecnología de presecado y tratamiento ácido “in situ”.

En la tabla IV aparece el calculo del efecto económico por el concepto de sustitución de importaciones al producir bentonita activada ácida por las tierras decolorantes importadas teniendo en cuenta que por cada tonelada de tierra decolorante se deben emplear dos de bentonita activada ácida.

Tabla IV. Cálculos de los ahorros por sustitución de importaciones al producir bentonita activada ácida por la tecnología de tratamiento ácido “in situ” desarrollada por el CIPIMM.



Concepto	Unidad Medida	Valor
Importaciones de tierras decolorantes	t/año	600
Precio de las tierras decolorantes	USD/t	700.00
Producción de Bentonita Activada p/ sustituir importaciones	t/año	1200
Costos Unitarios Estimados de Producción	Total (Pesos/t)	45.00
	Divisas (CUC/t)	25.00
	MN (Pesos/t)	20.00
Ahorro por concepto de sustitución de importaciones *	Divisas (MUSD)	366.0

\* Considerando los costos totales como si fueran todos en divisas.

### Por la producción de la Bentonita Grado Farmacéutico.

En la tabla V aparece el calculo del efecto económico por el concepto de sustitución de importaciones al producir bentonita grado farmacéutico. El costo de producción se consideró el doble del reportado por la planta para la producción de bentonita natrificada, teniendo en cuenta entre otras cosas lo siguiente:

- La necesidad de operaciones en el yacimiento mas cuidadosas
- El secado se debe hacer con combustible de bajo azufre.
- El producto debe envasarse en sacos y condiciones especiales.

Tabla V. Cálculos de los ahorros por sustitución de importaciones al producir bentonita grado farmacéutico por los procedimientos desarrollados en el CIPIMM.

Concepto	Unidad Medida	Valor
Importaciones	t/año	100
Precio de la bentonita grado farmacéutico importada	USD/t	500.00
Costos Unitarios Estimados de Producción	Total (Pesos/t)	94.58
	Divisas (CUC/t)	70.02
	MN (Pesos/t)	24.56
Ahorro por concepto de sustitución de importaciones*	Divisas (MUSD)	40.5

\* Considerando los costos totales como si fueran todos en divisas.

### Por la producción del Producto Cama de Mascotas.

En la tabla VI aparece el calculo del efecto económico por el concepto de sustitución de importaciones al producir Producto Cama de Mascotas. El costo de producción se estimó considerando las materias primas que lleva y el costo de procesamiento del producto en la planta de Jaruco. La capacidad de producción se estimo en 5 t que es el consumo previsto por las cadenas de Tiendas Especializadas para Animales "Almiquí", a un precio de venta de 4 USD el paquete de 5 Kg de producto, pero existe un mercado potencial en moneda nacional, mucho mayor (estimado en 50 t/año) y al cual el paquete de 5 Kg se pudiera comercializar a un precio de 10 pesos. El producto de la venta en tiendas en divisas compensaría los gastos de la producción total en esa moneda.

Tabla VI. Cálculos del efecto económico de producir Cama de Mascotas a partir de minerales industriales cubanos por procedimientos desarrollados en el CIPIMM.

Concepto	Unidad Medida	Valor
Consumo estimado tiendas en divisas	t/año	5
Precio de producto Cama de Mascotas p/ tiendas en divisas	USD/t	800.00



Consumo estimado tiendas en MN	t/año	800.00
Precio de producto Cama de Mascotas para tiendas en MN	pesos/t	2000.00
Costos Unitarios Estimados de Producción	Total (Pesos/t)	91.48
	Divisas (CUC/t)	61.51
	MN (Pesos/t)	29.66
Efectos económicos de la producción de Cama de Mascotas	Total (MPesos)	99.1
	Divisas (MCUC)	0.7
	MN (MPesos)	98.4

### Resumen efecto económico del aprovechamiento de la bentonita del yacimiento "Managua".

Al sumar los efectos económicos por conceptos de ahorro en los costos de producción por aplicar las nuevas tecnologías y el desarrollo de nuevas producciones que sustituyen importaciones ó generan nuevos renglones productivos se obtiene lo siguiente:

Efectos Económicos Totales del aprovechamiento de la bentonita del yacimiento "Managua"	Total (Mpesos/a)	728.4
	Divisas (MCUC/a)	549.6
	MN (Mpesos/a)	178.8

### CONCLUSIONES.

1. Los desarrollos de nuevas tecnologías y nuevos productos a partir de los minerales de bentonita del yacimiento "Managua", permiten llevar una estrategia empresarial adecuada revitalizar en los próximos años este importante renglón productivo de la Unión Geólogo Minera.
2. Las nuevas Tecnologías desarrolladas son:
  - Presecado y Natrificación "in situ".
  - Presecado y Tratamiento ácido "in situ".
3. Los Nuevos Productos Desarrollados son:
  - Bentonita micronizada y granulada de alta hinchabilidad.
  - Bentonita activada ácida.
  - Bentonita grado farmacéutico.
  - Cama de Mascotas.
4. La posibilidad de aprovechamiento de la mena tipo II de este yacimiento permite elevar las reservas industriales en 156.4 Mt que representa un incremento de 21.0 %.
5. El efecto económico total que pudiera representar estos trabajos para el país se estima en mas de 728 Mpesos y de ellos casi 550 MCUC.

### RECOMENDACIONES.

1. Comenzar de inmediato los trabajos de transferencia tecnológica a la Empresa Minera de Occidente, profundizando la misma en la labor de mercadeo que permita recuperar los mercados tradicionales y desarrollar el de los nuevos productos.



2. Concluir aquellos aspectos pendientes como son las pruebas de uso en escala ampliada de la bentonita activada ácida en la fabrica de aceites y grasas de Regla y las pruebas de escala ampliada de procesamiento de la mena tipo II.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Aja, Rubén y Otros. CIPIMM 1987. Activación Ácida de la Bentonita del Yacimiento "Managua" y su Aplicación Industrial. Informe Técnico No 50..
- García Romero, Emilia; Suarez Barrios, Mercedes. Las Arcillas: Propiedades y Usos. Universidad Complutense (Madrid); Universidad de Salamanca. Búsqueda en Internet. <http://www.uclm.es>
- Información INTERNET. Pagina Web: <http://www.bentocol.8m.com/Especiales.htm>
- Montejo, Emilio; Álvarez, Idael y Otros CIPIMM 2001. Estudio del Presecado y Natrificación "in situ" de la Bentonita del Tipo I del yacimiento "Managua". Parte 1: Laboratorio y Parte 2: Escala Ampliada. Informe de Investigación No 97.
- Montejo, Emilio y Otros. CIPIMM Diciembre 2003. Desarrollo de Nuevos Productos de Bentonita..
- Montejo, Emilio y otros. CIPIMM diciembre 2003. Diversificación de productos de bentonita. Estudio de la obtención de bentonita grado farmacéutico..
- Montejo, Emilio y Otros. CIPIMM 2002. Estudio del Presecado y Natrificación "in situ" de la Bentonita del Tipo II del yacimiento "Managua". Informe Técnico No 123.
- Montejo, Emilio; Pellicier, Manuel y Socarras, Bienvenido. CIPIMM 2002. Informe sobre Exploración del Mercado Nacional de Bentonita..
- Romero, Julio; Rodríguez, Tania y Otros. CIPIMM 1988. Estudio de las características de las zeolitas naturales del yacimiento "Piojillo - Tasajeras", para su uso como lecho de animales domésticos. IT No 77..

## Avaless

- 1.- Certificado de Introducción de Resultado Científico Técnico del Estudio del Presecado y Natrificación "in situ" de la Bentonita del yacimiento "Managua" emitido por la Empresa GM Habana-Matanzas.
- 2.- Certificado Aceptación de Etapa. Estudio del Presecado y Natrificación "in situ" de la Bentonita del yacimiento Managua. Emitido: CIPIMM-UGM.
- 3.- Certificado de Aceptación de Etapa Diversificación de Productos de Bentonita para la Industria Nacional Bentonita Grado Farmacéutico. Emitido por: CIPIMM-Empresa GM Habana-Matanzas.
- 4.- Informe acerca de la caracterización Físico-Químico, microbiológico y Tecnológica de la muestra de Bentonita denominada F-3 procedente del CIPIMM emitido por el Centro Nacional de Termalismo.
- 5.- Resultados de las Pruebas con tierras decolorantes emitido por la Empresa de Aceites y Grasas comestibles del MINAL.
- 6.- Resultados del blanqueo de la mezcla de grasas para jabones con muestras de Bentonitas del CIPIMM. Emitido por SUCHEL CETRO.
- 7.- Uso de Bentonita de jabones NACAR y BATEY de SUCHEL Fragancia.
- 8.- Planillas de evaluación de producto Cama de Mascotas.  
Emitido por:
  - Clínica Almiquí.
  - Dr. en Veterinaria Basilio Szcrpyel Wonk
  - Investigadora Ing. Rebeca Fernández
  - Ing. Alberto Serpa.





**TABLA II. RESUMEN DE CONSUMOS ACTUALES Ó PERSPECTIVOS DE BENTONITA**

No	EMPLEO	CARACTERISTICAS	CONSUMO (t/año)		Consumidor Potencial	OBSERVACIONES
			Actual	Perspectivo		
1	Industria de la Pintura	Natrificado, micronizado.	50.0	50.0	Actual	
2	Industria Metalúrgica	Natrificado, micronizado.	100.0	300.0	Actual	Para moldes de fundición.
3	Ind. Farmacéutica y Med.-Veterinaria	Estéril, Hinchab.20-24	0.0	100.0	Corto Plazo	Densificante en pomadas, ungüentos.
4	Industria de Jabonería y Perfumería	Natrificado, micronizado.	0.0	2500.0	Corto Plazo	Asumido 5 % en formulación jabón población.
5	Ind. de Jabonería y Perfumería *	Activado ácido, Microniz.	0.0	100.0	Corto Plazo	Necesario concluir investig. activación ácida.
6	Industria de la Goma	Natrificado, micronizado.	0.0	800.0	Corto Plazo	Sustituto del Caolín de importación en suelas.
7	Industria del Petróleo	Natrificado, micronizado.	0.0	1200.0	Corto Plazo	Consumo de 100-120 t/pozo, para lodos.
8	Industria Cerámica	Natrificado, micronizado.	0.0	20.0	Corto Plazo	Solo en muebles sanitarios
9	Ind. Alim. Trat. aceites comestibles.	Activado ácido, Microniz.	0.0	500.0	Corto Plazo	Necesario concluir investig. activación ácida.
10	Ind. Alim. Clarif. bebidas y licores.	Natrificado, micronizado.	0.0	100.0	Corto Plazo	
11	Acueductos. Clarificación de aguas	Natrificado, micronizado.	0.0	1000.0	Corto Plazo	Sust. Sulfato de Alumina. Asumiendo 10 g/m <sup>3</sup>
12	Industria de Plaguicidas	Natrificado, micronizado.	0.0	3000.0	Mediano Plazo	Sustituto del talco importado.
13	Agricultura	Por definir.	0.0	5000.0	Mediano Plazo	Solo en substratos.
14	Alimentación Animal Bovino **	Natrificado, granulado.	0.0	74000.0	Mediano Plazo	Consumo de 20 Kg/año por animal.
15	Alimentación Animal Porcino **	Natrificado, granulado.	0.0	10000.0	Mediano Plazo	Consumo de 5 Kg/año por animal.
16	Alimentación Animal Aves ***	Por definir.	0.0	1000.0	Mediano Plazo	Consumo de 0.3 Kg/animal y en Nidales.
<b>T O T A L</b>			<b>150.0</b>	<b>99670.0</b>		

\* Decoloración de sebo.

\*\* Consumo Potencial

**RESUMEN DE CONSUMO**

Bentonita Alimentación Animal	85000.0
Bentonita Natrificada (Sin consumo animal)	14070.0
Bentonita Activada Ácida	600.0
<b>Total</b>	<b>99670.0</b>

**RESUMEN DE CONSUMO A CORTO PLAZO**

Bentonita Natrificada.	6070.0
Bentonita Activada Ácida.	600.0
<b>Total</b>	<b>6670.0</b>



## PERSPECTIVAS DE ZIRCÓN EN CAMAGÜEY

**Marcelo H. Martínez Martínez<sup>(1)</sup>, Maribel Padrón Martín<sup>(2)</sup>, Luís E. Fuentes Salas.<sup>(3)</sup>**

(1), (2), (3) Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este Km 5 1/2, CP: 70600, Camagüey, Cuba.

### RESUMEN

El Zircón es un mineral estratégico de alta demanda, con un elevado valor comercial y amplias posibilidades de uso. Representa una línea de proyección nueva en el país, a tal extremo que sus impurezas están constituidas por minerales estratégicos como lo son el Uranio y el Hafnio.

Se conocen numerosos puntos de mineralización con resultados de laboratorio cuyos valores van desde algunos miles de ppm hasta 40-50% del total de la muestra. La fracción pesada de los sedimentos aluviales (arenas y arenas arcillosas) está conformada casi exclusivamente por Zircón (Mena de este mineral). Aunque se hace énfasis en el trabajo sobre las enormes perspectivas que existen al sur de la provincia de Camagüey, esta perspectiva se extiende hasta las provincias de Ciego de Ávila y Las Tunas, tanto al sur como al norte desde los intrusivos que afloran en dichas provincias.

Se ofrecen los Recursos que son posibles alcanzar en la provincia así como los métodos de beneficio que actualmente se aplican en los países donde se explota este mineral (EEUU, Canadá, Australia, etc.). Los métodos de beneficio los constituyen 4 procesos básicos para extraer el  $ZrO_2$  de la arena con zircón, todos ellos son capaces de producir gránulos y polvo de zirconio hasta alcanzar de 75 a >99% de pureza. Se da una idea somera de la calidad, usos del mismo y se recomiendan los trabajos que se deben ejecutar para lograr obtener un yacimiento de dicho mineral en la provincia.

### ABSTRAC

The Zircón is a strategic mineral with high demands, high commercial value and wide use possibilities. It represents a line of new projection in the country, impurities are constituted by strategic minerals of Uranium and the Hafnium elements.

Numerous mineralization points are known with laboratory results whose values go from some thousands ppm thousands to 40-50% of the total of the sample. The heavy fraction of the alluvial silts (sands and loamy sands) is conformed almost exclusively by Zircón (Ore of this metal). Although it makes emphasis in the work considering the enormous perspectives that exist to the south of the Camagüey province, this perspective extends to Ciego de Ávila province and Las Tunas, always in the south and north from the intrusivos outcrops that appear in the province.

Here are showed the Resources that is possible to reach in the province as well as the methods of enrichment that currently are applied in the countries where actually exploits this mineral is exploited (USA, Canada, Australia, etc.). The methods of enrichment are constituted by 4 basic processes to extract the  $ZrO_2$  of the zircón sands, all they are able to produce zircon grains and powder to reach from 75 to >99% of purity. Is given a general idea of the quality, uses and the works that are recommended to be executed to discover a deposit of this mineral in the province.

### INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer la presencia de minerales valiosos como lo es el Zircón y que pudiesen ser explotados en nuestra región para lo que se requiere de una Investigación Geólogo Tecnológica profunda en este sentido. La aparición en la parte centro sur de la provincia de Zircón es conocida desde la década del 80, se ha reiterado en las diferentes investigaciones realizadas la presencia de dicho mineral con contenidos que fluctúan entre 0.3 a 20% y más. Sus posibilidades de uso son numerosas. Es un mineral que genéticamente se asocia con otros minerales de interés como son el oro, titanio, hafnio, etc.

El elemento Zirconio fue descubierto en 1788 por Klaproth Berzelius en 1824 aisló el metal en estado "impuro" y los químicos holandeses D. Lely y Hamburguer de los laboratorios de la Phyllyps, en Eindhoven lo obtuvieron puro en 1914. A mediados de la década del 70 hace su aparición en el mercado una sustancia artificial conocida como "Circonita", ésta nada tiene que ver con los zircons (es óxido de zirconio cúbico a diferencia de la Baddeleyita que es monoclinico).

En Cuba este mineral no ha sido estudiado con la intensidad que el mismo requiere, no obstante, a inicio de la década del 80 se hicieron algunos recorridos por la Costa Sur de Camagüey (hasta Ciego de Avila) en busca de arena sílice, de las muestras que se tomaron en dicho viaje se comprobó la presencia de Zircón en la fracción pesada (monomineral) en una monografía preparada por el Ing. Donato Seijo (CIPIMM).

En 1985 especialistas del Establecimiento CAME CUBA - RDA hicieron un informe (Adamski, 1985) sobre las perspectivas de dicho mineral. En 1987 se realizan trabajos de campo (Búsqueda) (Torres, 1987) en la porción sur de Camagüey en la zona Penzacola y en 1998 se concluye con la Exploración en dicho Yacimiento donde se dan Recursos Medidos e Indicados en un volumen de 18737 toneladas e Inferidos de 11261 toneladas de arena sílice. En el 2004 se tomó una muestra de cada sector de la zona Penzacola y una de suelo, en total 5 muestras.

### **CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL ZIRCÓN.**

El Zircón es la Mena de Zirconio (Pauling, 1955). Su composición está formada por un tercio de ácido silícico y 2 tercios de óxido de zirconio, por lo que tratándose de un silicato de zirconio se le cita como un óxido de zirconio. Zirconio es el elemento. Zircón ( $\text{SiO}_4\text{Zr}$  = Silicato natural de zirconio) es como "generalmente" aparece en la naturaleza. óxido de zirconio ( $\text{ZrO}_2$  = Dióxido de Zirconio ó Anhídrido Zircónico) se presenta en estado natural como Baddeleyita, Zirkelita y más raramente como un silicato de Sodio y Calcio en la Eudialita (Ariosa, 1977).

El elemento Zirconio ocupa el número 40 del Grupo IV de la Tabla Periódica, su Clarke es 0.017 (es relativamente alto en comparación con otros elementos más conocidos, a pesar de ello se encuentra extremadamente disperso en la naturaleza), su peso atómico es 91.22, su peso específico es  $6.4 \text{ g/cm}^3$  (a  $18^\circ\text{C}$ ), funde a  $2350^\circ\text{C}$ , dureza 7.5, es dúctil, brillo metálico, es un sólido muy inflamable en estado seco, es explosivo en contacto con agentes oxidantes, el Zirconio 95 es radioactivo, es un elemento litófilo, en la naturaleza se conocen sus combinaciones exclusivamente con el oxígeno, representadas estas por óxidos y silicatos. El  $\text{ZrO}_2$  es un polvo blanco, amorfo, pesado ( $5.5\text{--}5.73 \text{ g/cm}^3$ ), punto de fusión aproximado a  $3000^\circ\text{C}$ , insoluble en agua y en la mayor parte de los ácidos y álcalis a temperatura ambiente, soluble en ácido nítrico, clorhídrico o sulfhídrico concentrado y caliente. Se conoce también como Zirconia, está comercialmente disponible en 2 formas básicas naturales como es el Baddeleyita mineral y sintéticamente como derivado de arena de zircón ( $\text{ZrSiO}_4$ ). El  $\text{ZrSiO}_4$  tiene una densidad de  $4.69 \text{ g/cm}^3$ , es incoloro en estado puro, pero presenta tintes amarillos o parduscos por impurezas de hierro, brillo vítreo adamantino. La variedad roja es el verdadero Jacinto.

### **GEOLOGIA**

Según informe de especialistas del CAME e informes de Arena Sílice, en el área aparecen las rocas de la Fm. Güines ( $G_1N_1^2$ ) del Neógeno Inferior y Medio, por encima y conformando los depósitos de interés para la detección de zirconio se encuentran los sedimentos del Cuaternario

(Pliopleistoceno) conformados por conglomerados, arenas y arcillas arenosas abigarradas, cementadas suavemente (Ver fig. 1).



**Fig. 1 Mapa Geológico Regional con los resultados de Zirconio.**

Las arenas cuarzosas ( $\text{SiO}_2$ : >95%) son de color beige hasta carmelita oscuro, de granulometría fina, a veces se encuentran en antiguos paleocauces y entrampados en paleolagunas; no debemos excluir la posibilidad de que mas al Sur existan sedimentos aluvio marinos o marinos enriquecidos en zircón. De igual forma consideramos que hacia el Norte debe encontrarse zircón en mayor cantidad y con mayores tamaños (posibles zonas de entrampamiento natural).

Genéticamente se incluyen en yacimientos Magmáticos y Pegmatíticos. Es difundido como mineral accesorio en las rocas eruptivas: granitos y sienitas. En las pegmatitas los cristales bipiramidales alcanzan hasta 1 cm y más, se encuentran junto con los feldespatos, la apatita, el esfeno, la nefelina, la mica negra (lepidomelano), minerales de tierras raras (tántalo, niobio y torio).

Como material mecánicamente resistente el zircón se encuentra en PLACERES, de donde es extraído (a veces con la monacita). Contiene en forma de impurezas isomorfas: Hf, Th y TR. Llámase PLACER a la acumulación industrial de minerales en las arenas; éstos pueden ser mucho más ricos que los primarios (Milovski, 1988).

Entre los yacimientos Pegmatíticos están los de Noruega, Madagascar, Urales, etc., y entre los de Placeres: USA (Florida), Brasil, Sri Lanka, etc. Genéticamente a los yacimientos auríferos de

placeres se asocian los minerales pesados como: magnetita, ilmenita, zircón, apatito, esfeno, granate, cordierita y otros minerales corrientes de rocas intrusivas ácidas y medias, así como metamórficas. Las rocas ácidas son más ricas en Zirconio que las básicas y ultrabásicas, y las más altas concentraciones de este metal se localizan en Sienitas Nefelínicas y rocas alcalinas.

MINERAL	COMPOSICION QUIMICA	CONTENIDO
Zircón	$ZrSiO_4$	$ZrO_2$ : 67%; hasta 2% de $HfO_2$ .
Baddeleyita	$ZrO_2$	$ZrO_2$ : hasta 93%; 0.5-1.2% de $HfO_2$ .
Eudialita	$(Na,Ca)_6ZrSi_6O_{17}(O,OH,Cl)$	$ZrO_2$ : 12-14%; hasta 0.4 de $HfO_2$ .

### MÉTODOS DE BENEFICIO DEL ZIRCÓN.

A continuación se exponen los procesos básicos para extraer el zirconio de la arena de zircón, éstos son capaces de producir gránulos y polvo de zirconio que van de 75 a >99% de pureza:

El Proceso fundido: Zircón y carbono son calentados en un horno eléctrico de arco a  $\sim 2000^\circ C$ . Aquí el  $SiO_2$ , se reduce a  $SiO$  y después de vaporizarse deja atrás el zirconio. Con adicionales tratamientos, como una opción, un zirconio que contiene >0.2%  $SiO_2$  puede formarse.

El Proceso alcalino: El zircón está calentado ( $600-1000^\circ C$ ) con hidróxido de sodio o óxido del calcio (cal) para formar un silicato. Una subsecuente purificación para quitar el silicato, luego un secado o calcinado, producirán el zirconio con purezas de  $\sim 0.10\%$   $SiO_2$ .

El Proceso del Plasma: El zircón se alimenta continuamente a través de un reactor de plasma-arco a una temperatura alta ( $15,000^\circ C$ ), en qué se separa el zirconio ( $ZrO_2$ ) y sílice ( $SiO_2$ ).

Los métodos antes expuestos consideramos que son los más importantes para alcanzar un producto con extrema calidad, no obstante, antes de llegar allí es necesario que por lo menos (al igual que lo hace la firma canadiense Titanio Corporation Inc.) se le realice a la mena un proceso de beneficio por mesa de concentración para separarla de la sílice en forma de cuarzo + feldespato que la acompaña, o sea lograr un concentrado de  $ZrO_2$ , (basado en la diferente densidad de pesos específicos).

### ASPECTOS ECONOMICOS Y RECURSOS MINERALES.

Los principales países productores de Zirconio son: EEUU (Florida), Brasil, Canadá, Sri Lanka, Australia e India en Placeres Costeros Marinos; la URSS (Urales), Ucrania, Noruega y Madagascar en Pegmatitas Alcalinas, otros países productores de zirconio son: Siam, Austria, Alemania, Nueva Zelanda y África del Sur.

La producción mundial de Zircón se estima en (1988) 815000 toneladas métricas (Australia y África del Sur). Se estiman reservas mundiales de Zircón en 32 millones de toneladas métricas. En EEUU las reservas de Zircón son aproximadamente 1.7 millones de toneladas de  $ZrO_2$ . El consumo total de todo el Zircón se estima en unas 36000 toneladas métricas al año.

La Compañía Titanio Corporation Inc. (Fiscor, 2004) ha construido una planta (la primera en su género) para recuperar el Titanio y Zirconio del yacimiento de arena (arenas petrolíferas después de extraído el petróleo) esta planta es capaz de procesar más de 5 toneladas por hora. (Localidad: Regina, Saskatchewan, Canadá). El valor de la industria del Titanio y el Zirconio está en el orden de los 12 billones de dólares (12 mil millones).



## CALIDAD Y USOS DEL ZIRCÓN.

El zircón normalmente se produce como un subproducto de la minería y proceso de los minerales pesados. El zircón (silicato de zirconio) es la fuente primaria de suministro y el Baddeleyita (óxido de zirconio) es una fuente menor de suministro. La calidad del zircón disponible comercialmente es típicamente con un mínimo de 64.5–66% de  $ZrO_2$  mientras que las calidades de la Baddeleyita tienen un mínimo de 92-99% de  $ZrO_2$ .

El zircón está incluido dentro de las piedras preciosas. En la calidad del zircón se encuentran partículas de sustancias radioactivas, principalmente uranio, que provocan un deterioro progresivo de la red cristalina, llegando hasta su destrucción total, convirtiéndolo en sílice y óxido de zirconio amorfo. El deterioro es un proceso muy largo, y dependiendo de la fase en que se encuentre se le denomina ALTOS (sin deteriorar), MEDIOS (ligeramente deteriorados) y BAJOS (deteriorados). Si se encuentran muy deteriorados pierden su interés gemológico. Al margen del deterioro natural del zircón que proporciona un aspecto turbio a las gemas, existen 3 variedades diferenciadas tan sólo por su color: el hialino llamado Diamante de Ceylán o Matura, es incoloro y muy raro en la naturaleza (alcanza gran valor); el Jacinto de color rojo o con matices rojizos (también alcanza gran valor); el Jargón es de color amarillo verdoso con poca coloración (es el menos apreciado). Como se podrá apreciar, a continuación se ofrecen de forma detallada los usos del zirconio aprovechando si se puede expresar este en forma cronológica ya que hoy día muchos de los usos que aquí se presentan ya son obsoletos o sustituidos por tecnologías mas modernas, no obstante, resultan de interés por lo que hemos considerado favorable su inclusión en el texto; éstos son:

Según Holleman, 1924: Se usa como sustituto del estaño en la fabricación de esmaltes, como revestimiento abrasivos en la industria siderúrgica y para fabricar aceros al zirconio. Según L. Pauling, 1955: Confirma su uso como gema, además en aceros extra rápidos y PLACAS DE BLINDAJE, como material muy refractario y ácido resistente, de este puede extraerse el Hafnio.

Para obtener compuestos de zirconio; sustitución retardadora del ennegrecimiento de bombillos de alto vacío, desoxidante en piezas de fundición de metal, ingrediente de polvo para flash en fotografía, como antídoto en los envenenamientos por plutonio, agente de aleaciones en níquel cromo y otras aleaciones no ferrosas. El zirconio radioactivo se emplea en medicina.

Otros compuestos del Zirconio se usan en:

- 1.- Carburo de Zirconio ( $CZr$ ): Filamentos incandescentes, abrasivos.
- 2.- Tetracloruro de Zirconio ( $Cl_4Zr$ ): Química analítica, repelente de agua en tejidos, preparación de pigmentos, agente de curtidos.
- 3.- Fosfato de Zirconio ( $5(P_2O_5)_4ZrO_4$ ): Como reactivo químico.
- 4.- Glicolato de Zirconio ( $H_4ZrO(C_2H_2O_3)_3$ ): Cosméticos, medicina.
- 5.- Lactato de Zirconio ( $H_4ZrO(C_5H_4O_3)_3$ ): Cosméticos.
- 6.- Nafteno de Zirconio: Cerámica, esmalte, vidriado, lubricantes, pinturas, barnices (agente anti calcáreo, minimizador de los efectos de la humedad y la radiación solar).
- 7.- Nitrato de Zirconio ( $(NO_3)_4Zr+5H_2O$ ): Preservación de alimentos.
- 8.- Nitruro de Zirconio: En refractarios.
- 9.- Óxido de Zirconio ( $ZrO_2$ ): Pigmentos para pintura, lacas, resinas y tintas; como estabilizador de colorantes orgánicos, para aumentar la eficiencia luminosa de las lacas o resinas empleadas como reflectores de la luz, manguitos incandescentes, fotografía por Rx, sustituto del  $CaO$  en las luces al calcio, opacidad en el vidriado blanco, para iluminación eléctrica indirecta, cerámica, esmalte resistente a los ácidos, placa de licencia de los automóviles, rótulos callejeros, utensilios y cementos refractarios, metalurgia, abrasivo.

10.- Sulfato de Zirconio ( $(\text{SO}_4)_2\text{Zr} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ): Como reactivo químico, materia prima de sales de zirconio.

11.- Aleaciones de Ferrozirconio: Son aleaciones empleadas en la fabricación del acero:

Aleación de 12-15% de Zirconio: Análisis aproximado: Zirconio: 12-15%, Silicio: 39-43%; Hierro: 40-45%.

Aleación de 35-40% de Zirconio: Análisis aproximado: Zirconio: 35-40%, Silicio: 47-52%; Hierro: 8-12%. Estas aleaciones se usan como desoxidante y barredor del acero en cantidad entre 0.05-0.10%, actúa primero sobre el oxígeno y el nitrógeno del acero, tendiendo a eliminarlos, así como a las inclusiones no metálicas. En cantidad de 0.10-0.15% forma nitruro de zirconio; cuando está presente en el acero por encima del 0.15% se combina con el azufre formando sulfuro de zirconio, éste impide el desgarramiento en el laminado y produce una mejor superficie en el acero de alto contenido de azufre.

Según el Lic. Ariosa, 1977: Su uso es fundamental en la producción de instrumentos de corte rápido y como metal aditivo en los aceros, aleaciones, especiales; en la industria moderna de la electrotécnica, cosmonáutica, etc.

Según José Ibarz, 1979: Es importante en el campo de la energía atómica debido a su pequeñísima sección eficaz para la absorción de neutrones, facilidad de trabajo mecánico y alta resistencia a la corrosión. Se usa en aceros especiales de alta tenacidad y baja temperatura. El  $\text{ZrO}_2$  se emplea como material refractario debido a su elevado punto de fusión, su escasa conductividad térmica, su bajo coeficiente de dilatación y su gran resistencia a los agentes químicos.

LO MAS MODERNO QUE SE CONOCE SOBRE EL USO DE ESTE MINERAL ES LO SIGUIENTE (Centro Web, 2004):

“Es necesario evaluar los zirconios diferentes para determinar cual es el mas apropiado para la aplicación intencional.  $\text{ZrO}_2$  puede existir como tres polimorfos diferentes, bien-definidos: los monoclinicos, tetragonales y fases cúbicas. La fase monoclinica es la forma a temperatura de ambiente y es estable hasta aproximadamente  $1170^\circ\text{C}$  ( $2140^\circ\text{F}$ ). A esta temperatura se transforma en la fase tetragonal en la cual estará estable hasta  $\sim 2370^\circ\text{C}$  ( $4300^\circ\text{F}$ ). A esta temperatura se transforma en la fase cúbica y hasta el punto de fundición de zirconio  $2880^\circ\text{C}$  ( $4855^\circ\text{F}$ ). Debido a esta propiedad, el zirconio es un material avanzado que ha encontrado su manera en una variedad ancha de usos y aplicaciones extremas. Éstos incluyen los refractarios de alta temperatura, electrónica, los componentes cerámicos técnicos, los pigmentos colorantes, las capas de las barreras térmicas, y muchos más. Zirconios puede encontrarse en industrias que van de la producción de vidrio hasta las producciones de turbinas de aviones.

El zirconio monoclinico juega un papel importante en la fabricación de colores cerámicos y componentes electrónicos. También se usa como un aditivo para reforzar las propiedades de otros refractarios óxidos por el sinterizado. Es particularmente ventajoso cuando agregó a los cuerpos de magnesio y contribuye a las características abrasivas cuando se agregó a la alúmina. Estos materiales generalmente se usan para las aplicaciones refractarias como ladrillos, espumas o lanas cerámicos. Ellos también pueden usarse como cruciformes o filtros ya que son resistentes al ataque por la mayoría de los metales fundidos.

Zirconio también es usado para formar muchos componentes estructurales diferentes. Agregando cantidades pequeñas de cal, ltrium o magnesia, se forma un zirconio parcialmente estabilizados (PSZ). De este modo fases precipitadas tetragonales o fases monoclinicas se dispersan en una matriz de zirconio cúbico. Los zirconios de PSZ tienen propiedades



mecánicas que permiten la producción de componentes estructurales con resistencia al estrés elevado. Debido a la resistencia al desgaste y corrosión, es un material apto para el manejo de metales fundidos. Algunos ejemplos serían los cruciformes para las aleaciones de avión y boquillas y rampas de deslizamiento de aceros fundidos. La dureza y resistencia de la cerámica de zirconio lo hace una opción excelente en aplicaciones como los troqueles de la extrusión, media de molienda, los recubrimientos cerámicos, asientos de válvulas, guías, parte mecánicas y los injertos médicos. La conductibilidad iónica excelente de Zirconio que está presente en la forma cúbica permite las aplicaciones como los sensores de oxígeno y celdas de combustible."

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la preparación del trabajo se utilizaron los informes que relacionados con este mineral aparecen en los archivos de la Oficina Nacional de Recursos Minerales, la Empresa Geominera Camagüey, una numerosa bibliografía de libros de texto, algunos datos de Internet, revistas, etc. Entre los documentos que sirvieron de base esencial figuran dos monografías de la década del 80 (Adamski, 1985 y Seijo, 1986) en las cuales se trata de la importancia que representa este mineral para la economía, así como numerosos datos de las muestras que se evaluaron.

En 1985 especialistas del Establecimiento CUBA - RDA hicieron un informe (Adamski, 1985) sobre las perspectivas de dicho mineral. Según este trabajo se concluye que:

- El mayor enriquecimiento en Zirconio se encuentra en la fracción más fina ( $<0.05$  mm) y en los 2.0 m más superficiales en el corte (donde se observan valores de hasta 80000 ppm).
- La fracción menor de 0.05 mm de algunas muestras de testigo de pozo, el Zircón está concentrado de manera semejante que los sedimentos de fondo de la superficie.
- Se puede obtener un concentrado de este mineral por lavado y tamizado; se señala que hay que tener en cuenta que el tamaño de los granos tan pequeños da una extracción poco favorable económicamente.
- Los pasos siguientes llevarían tratamientos muy costosos para poner a disposición de la industria una materia prima de utilidad.
- Se señala que los resultados no son tan halagüeños como indicaron los primeros datos.
- Se deja entrever que la fracción más útil podría ser la que va de 0.1 a 0.3 mm.

En 1987 se realizan trabajos de campo (Búsqueda) (Torres, 1987) en la porción sur de Camagüey en la zona Panza cola y en 1998 se concluye con la Exploración en dicho Yacimiento donde se dan Recursos Medidos e Indicados como arena sílice en un volumen de 18737 toneladas e Inferidos de 11261 toneladas. Estos Recursos se calculan en 5 sectores con un área aproximada de unos 20000 m<sup>2</sup> c/u, el área de las zonas es de 14000000 m<sup>2</sup>; esto nos confirma que las posibilidades de detectar sectores perspectivas en la Región son de 0.72%, la potencia media investigada es de 0.48 m y la máxima alcanzada de 1.0 m.

En el 2004 se tomó una muestra de cada sector de la zona Panza cola y una de suelo, en total 5 muestras; según los resultados mineralógicos el zircón representa aproximadamente un 75-85% de la fracción pesada, los resultados por muestra son los siguientes: 3316, 3159, 3065 y 3479 g/t (0.3-0.4%) para las arenas de cada sector y la de suelo 1994 g/t (0.2%).

Para lograr los objetivos planteados se utilizaron los métodos siguientes:

- Estudio de todos los trabajos anteriores realizados en la región sobre este mineral., así como la bibliografía relacionada con el tema.
- Valoración y evaluación de los resultados anteriores.
- Toma de muestras, su análisis y valoración mineralógica.

## RESULTADOS

Los resultados principales obtenidos son:

- Confirmación de las perspectivas de encontrar Zircón al sur de Camagüey, en cantidades considerables y con la calidad requerida (mayor del 98%)..
- Creación de las condiciones de motivación elementales para realizar los estudios necesarios y lograr un yacimiento con reservas industriales que bien pudiera servir para la exportación.
- Ampliar la gama de conocimientos que sobre dicho mineral se tiene tanto en la región como en el país.

## DISCUSIÓN

### PERSPECTIVAS DE ZIRCÓN EN CAMAGÜEY.

Las perspectivas de encontrar Zircón en la provincia son reales (concentrado de zirconio). De los trabajos realizados por especialistas de la Brigada CAME en el 85 se obtuvieron como resultados la detección de valores anómalos para el Zirconio en las hojas siguientes:

Céspedes 4580-IV, Florida 4580-I, Algarrobo 4580-II, Camagüey 4680-III, Vidot 4679-IV, Cascorro 4779-IV, Minas 4680-II y San Antonio 4580-III como la más perspectiva de las áreas investigadas en esa época en la provincia (Ver fig. 2).

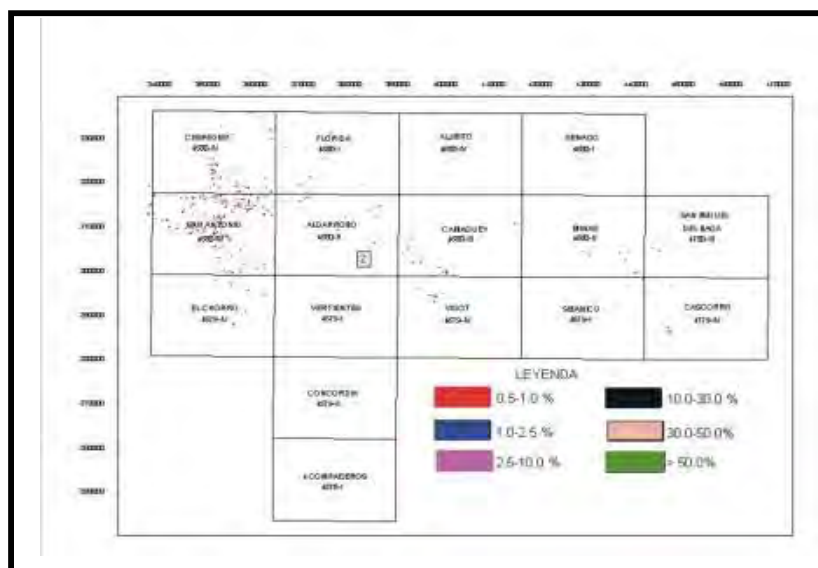


Fig. 2 Ubicación de los resultados de las muestras de Zirconio.

Aquí se analizaron muestras de sedimentos de fondo, muestras de jagua, etc. La determinación se hizo por Espectral Cuantitativo, el intervalo de confianza para el método empleado dado por el laboratorio fue de 40-5000 ppm; se obtuvieron valores hasta 90000 y más. Estos trabajos demostraron que los valores anómalos mayores están hasta 1.2 m de profundidad, y la fracción más favorable es la arena entre 0.1-0.3 mm. Las cotas oscilan entre 20-50 m.

Otros trabajos encaminados a la Prospección y Exploración de Arena Sílice en la provincia son los realizados por los especialistas José Torres, M. Nápoles, et. al., en los años 87 y 98 (6, 7) donde se garantizaron Recursos en el orden de las 100000 toneladas de arena sílice. Estos se ejecutaron en el sector Panzacola (hoja 4 Compañeros, 4578 I), aquí se confirmó la profundidad útil (hasta 1 m) y la granulometría (0.1 – 0.63 mm). Las cotas oscilan entre 5-20 m. El nivel freático está por debajo de los 3 m.

En ambos casos la vegetación es fundamentalmente de sabana, aparecen árboles de gran tamaño y mucho marabú, la región es puramente agrícola y ganadera.

Con los resultados de las muestras tomadas en los trabajos anteriores se conformó un mapa con las Anomalías Geoquímicas de Zirconio (Ver fig. 3):

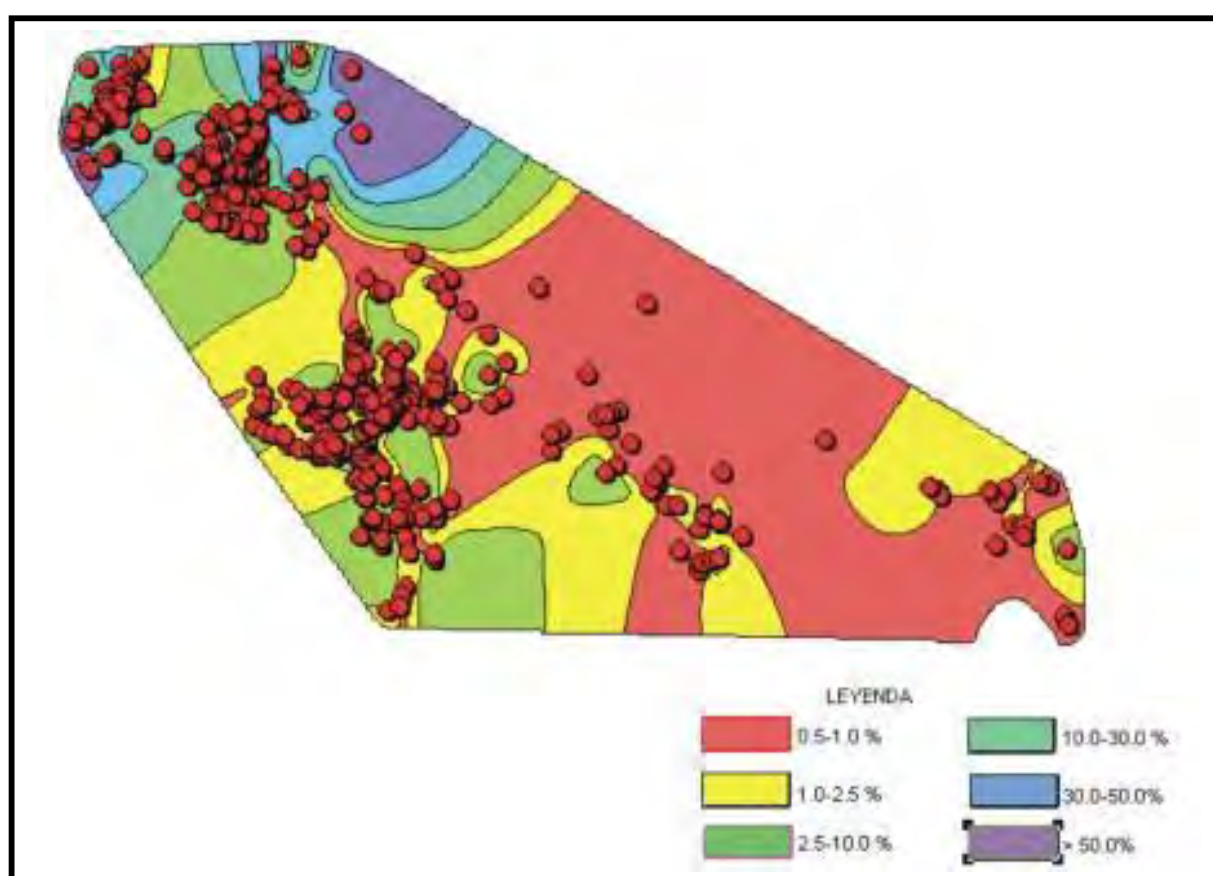


Fig. 3 Anomalías Geoquímicas de Zirconio.

#### CALCULO DE LOS RECURSOS HIPOTETICOS:

- Se parte de un área posible real (50% de la total) =  $1800 \times 10^6 \text{ m}^2$ , se conoce según cálculos iniciales que el área efectiva es de un 5% de la real; esto hace que se obtenga un Área útil posible de  $1800 \times 10^6 \text{ m}^2$ .

- La potencia útil conocida de los sedimentos fluctúa entre 0.5 y 2.0 m, se ha asumido una potencia media posible de 1.25 m.
- El contenido del mineral oscila entre 0.3 - 5.0%; tomamos un valor de cálculo de 2% y un rendimiento del 80%, esto hace un valor para el contenido medio de 1.6 % (16000g/t).
- El volumen de Zircón (MENA del mineral) asciende a 36000 toneladas.

### TRABAJOS A REALIZAR.

Consideramos se debe realizar un PROYECTO DIP para acometer los trabajos relacionados con el Zircón. No obstante quedan confirmados numerosos aspectos que deben servir de base o guía para trabajos futuros:

- La profundidad mas favorable es hasta 1.2 m, no obstante hasta 2.0 m resulta posible programar las investigaciones.
- La granulometría más favorable está entre 0.1 y 0.3 mm, esto se relaciona fundamentalmente con las áreas y sedimentos evaluados, esto pudiera ampliarse a 3 rangos: 0-0.1, 0.1-0.3 y >0.3 mm.
- Los trabajos deben realizarse en una extensa franja que ocupa toda la parte centro sur de la provincia, orientados estos generalmente de Norte a Sur, en perfiles, buscando sectores de entrapamiento de estos sedimentos.
- Valorar la posible utilización de los minerales acompañantes.
- Los laboreos deben ser manuales o con retroexcavadoras, por ser estos más económicos y dinámicos.

### CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se logra un conocimiento profundo del mineral y de la MENA de Zircón, así como dar a conocer las perspectivas que para la provincia y el país tiene la aparición de este mineral cuyas posibilidades de encontrarlo en placeres con una ley que le permita ser utilizado en renglones de alta demanda, superior al 98%, prácticamente es una realidad.

Si se comparan los resultados de rendimiento de Zircón de la Zona San Antonio y otras que están más al Norte con la de Penzacola que está en la porción más Sur, aquí se ve que el contenido de Zircón se incrementa sustancialmente, hasta límites que hacen pensar que resulta imposible que tales resultados sean confiables, no obstante, son elevadísimos y se deben tener en cuenta durante los trabajos futuros.

Como se constata a lo largo del trabajo es necesario realizar una investigación en los Sedimentos Cuaternarios al sur de Camagüey para corroborar los volúmenes posibles a detectar de Zircón y donde se incluyan otros minerales comúnmente acompañantes del Zirconio como son el oro, titanio, hafnio, minerales radioactivos, etc.

### BIBLIOGRAFÍA

- Adamski, Dr. B., 1985. Informe Preliminar sobre anomalías de Zircón detectadas durante la Prospección Geoquímica Regional mediante sedimentos de fondo.
- Ariosa, Lic. J. I., 1977. Curso de Yacimientos Minerales Metálicos. Tipos Genéticos Editorial Pueblo y Educación.
- Centro Web, 2004: A La mejor información en línea sobre Zircón.

Búsqueda general más...

© 1993-2003 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Fiscor, S., 2004. Plant Recovers Titanium, Zircón from Oil Sands Tailings. Engineering & Mining Journal, July 2004, Volume 205, Number Seven, (NEWS): 12

Holleman, Prof. Dr. A. F., 1924. Tratado de Química Inorgánica. Barcelona.

Ibars, J., 1979. Química General Moderna. Tomo I. Editorial Pueblo y Educación.

Milovski, A.V., 1988. Mineralogía. Editorial MIR. Moscú.

Pauling, L., 1955. Química General. Editora Revolucionaria.

Seijo, D., et. al., 1986. Estudio Orientativo sobre el Beneficio de la Arena del Sur de Camagüey.

Torres, Ing. J. T., 1987. Informe sobre la Búsqueda Orientativa de Arena Sílice al Sur de Camagüey.

## DIATOMITES, A EVOLVING EXAMPLE OF FOSSILS'S USAGES IN INDUSTRY

Massoud Aghabeygi

*Islamic Azad university of Mashad (Researcher's Club), Iran - Mashad - Rahnamii St. Faculty of sciences. Geology department. E-mail: aghabeygi\_ma@yahoo.com*

The purpose of this investigation, is studying communication between morphological properties of diatomites and their constructive particulars (Diatoms) with many applications of these rocks in industry. Increasing additive of diatomites uses in industry, which are commercial rocks with biogenic origin, has related with their particular properties. Indexes of study diatomites and their specific factors in determine of qualification as we investigate it is this article. These factors help us to understand the concepts of their communications.

An important class of low permeability rock is diatomite. Diatomite is a hydrous form of silica or opal composed of the remains of microscopic shells of diatoms, which are single-celled aquatic plankton. Diatomites are very porous (frequently exceeding 50%) with high internal surface area and low density, but they are exceptionally impermeable. Permeabilities range from 0.1 to 10 mD. Diatomites are fine-size rocks, irregular porous noncaking particles with a high liquid absorption capacity. They are relatively inert chemically, have a refractive index are mildly abrasive, have a low thermal conductivity with a reasonably high fusion point, can be slightly pozzolanic. Water imbibition is fundamental to both water flood and steamdrive performance in low permeability reservoir rocks such as diatomite. This phenomenon is caused by capillary suction and the differential attraction forces between the pore walls and fluids.

Fundamental factors in diatomites's studies, for determinate of their quality, will mention below:

A: Diatoms's shapes which make sample. B: Size of diatoms C: Rate of filling up the internal sediments into diatoms's chambers. D: Calculate of diatoms's percent, to make sample.

So we can study diatomites, according to our point of view which are: a) Lightness, b) High percent of moisture. c) To be soft. d) Clinkered fracture and to be powdering. e) Microscopic study.

From commercial point of view the most important of diatomite products, in a great variety of grades are such as: Filtration medium for beverages, sugar, oil, pharmaceuticals, ... - Liquid absorbents - Fillers the plastics ceramics, soaps, ... - Thermal insulation and fireproof's materials - Paint making - In papermill - Welding - Mortar and portland cements, pozzolanic materials - Making light weight bricks - Abrasives - Alternative of viscosity and many more uses.

Existence of spontaneous water imbibition, fluid flow state, existence of high internal surface area associated with high porosity in diatoms's structure low permeability, function of capillary forces and creates of interfacial tension, beside the high amount of silica to, be reason lightness, be soft, filling, power of high absorption, wettability, abrasive resistance in diatomites, as because of it, increase of industrial usages of these rocks with a great development. Circumstance of study, identification and determinate of diatomites quality according to the indexes which have mentioned above, are the most important ground in their industrial uses.



## CREACION DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PARA INTRODUCIR EL MODO AUTOMÁTICO INTERMITENTE DE VIBRACIÓN EN TAMIZADORAS ANALÓGICAS DE LABORATORIO

**Jorge de Huelbes Alonso(1), Manuel Corzo Aguillón (1)**

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía, IGA, AMA-CITMA, E-mail: [jdehuelbes@iga.cu](mailto:jdehuelbes@iga.cu)

### RESUMEN

Se presenta un dispositivo electrónico denominado DIV-1, que introduce el modo automático intermitente de vibración en tamizadoras analógicas de laboratorio que no tienen este control incorporado, evitándose de este modo el efecto de resonancia que se produce entre los tamices y el material que está pasando por ellos durante el tamizado seco de materiales arenosos, el cuál crea errores en los retenidos. La creación de este dispositivo con relativamente pocos recursos y a un bajo costo, evita la compra de tamizadoras digitales mucho más costosas, y hace que equipos que tienen cierto atraso tecnológico adquieran los parámetros de trabajo exigidos en los modernos laboratorios.

### ABSTRACT

In this paper we are showing electronic device DIV-1. DIV-1 introduce the automatic intermittent mode of vibration in analogical sieve shakers without this possibility. In the automatic intrmittent mode of vibration the sieve shaker repeatedly interrupts the oscillation briefly after a few seconds operation, thus preventing resonance between the sieves and the material being sieved. DIV-1 was made with few resources and low cost, avoiding to buy digital sieve shakers more expensive and becoming this analogical equipment in reliables tools for moderns laboratories.

### INTRODUCCIÓN

El análisis granulométrico de los sedimentos y suelos, es decir, la determinación de la distribución por tallas de los granos minerales que los componen, es un análisis básico en los laboratorios donde se estudian las propiedades físico-mecánicas de estos materiales naturales. La forma mas utilizada de hacer este análisis en sedimentos y suelos arenosos, es el tamizado, donde se dispone de una tamizadora o vibrador y un juego de tamices por el cuál se pasa el material que se quiere analizar.

Cuando el proceso de tamizado es en seco, es decir, el material se hace pasar por los tamices sin la ayuda de agua (muy común en materiales arenosos sin presencia de partículas limosas y arcillosas), se produce un efecto de resonancia entre el movimiento vibratorio de los tamices y el material que está siendo tamizado, de modo que una determinada cantidad de partículas no pasan por los tamices, provocando un cierto error en el análisis.

Para eliminar este efecto de resonancia, las tamizadoras modernas (analógicas y digitales principalmente) tienen incorporado un control intermitente de vibración que hace que la tamizadora deje de vibrar unos cuantos segundos después de un tiempo determinado de funcionamiento, y se repitan estas paradas periódicamente impidiendo que se desarrolle la resonancia. Sin embargo, muchas tamizadoras analógicas (controles por botones) no tienen este control incorporado, motivo por el cuál se diseñó y construyó el dispositivo electrónico que se presenta en este trabajo, mediante el cuál estos equipos alcanzan los parámetros de trabajo óptimos que requieren los modernos laboratorios.

## DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo externamente, presenta un cuadro de controles (fig. 1) donde se distinguen tres interruptores situados en la parte inferior, que de derecha a izquierda son el de encendido y apagado del equipo, el de al lado es el que conecta o desconecta el timer, y el tercero es el que regula el régimen de trabajo ya sea continuo o intermitente. Sobre estos tres interruptores se encuentran dos botones, que de derecha a izquierda son el de resetear el equipo cuando se quiere cambiar de régimen de trabajo, y el de arranque que es el que reinicia el trabajo después de haberse reseteado el equipo. En la parte superior derecha se encuentran dos interruptores para el control de los tiempos de funcionamiento de la tamizadora, el del extremo derecho graduado de 5 a 30 minutos, que regula el tiempo que va a estar trabajando el equipo dentro de ese intervalo de tiempo, y el situado al lado izquierdo del anterior graduado de 10 a 30 segundos, que regula los tiempos de vibración dentro de ese intervalo de tiempo antes de que se produzca una parada de tres segundos (las paradas siempre tienen una terminación de tres segundos). El cuadro de control lo completan tres bombillos indicadores situados en la parte superior izquierda, uno superior rojo que indica que el equipo está parado si está encendido, uno amarillo situado debajo del anterior que indica si el equipo está trabajando si está encendido, y el inferior verde que de estar encendido indica que el equipo tiene conectado el timer.

Internamente, DIV-1 presenta los componentes que aparecen en la tabla que se muestra al final del trabajo. Muchos de estos componentes son recuperados de equipos en desuso, y en general la inversión está en el orden de los 80 USD.

## FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

El dispositivo electrónico intermitente de vibración DIV-1, fue concebido con la idea de llevar tamizadoras analógicas de laboratorio con cierto atraso tecnológico a los parámetros óptimos de trabajo que presentan las modernas tamizadoras digitales, que son equipos relativamente costosos y de difícil reparación, además de que requieren condiciones de trabajo muy estables y tienen pocas posibilidades de utilizarse en lugares fuera de los locales de los laboratorios.

DIV-1, como se aprecia en la fig. 2, es un dispositivo externo que se acopla a una o dos tamizadoras analógicas, y que permite trabajar con prácticamente todas las variantes que se utilizan en el tamizado, las cuales detallamos a continuación:

### ***Tamizado continuo sin tiempo preestablecido de funcionamiento***

En esta variante de trabajo, la tamizadora funciona de modo continuo por tiempo indefinido, ya que no se activa el modo intermitente ni tampoco el timer, y la tamizadora solo dejará de funcionar cuando se interrumpa manualmente el suministro de energía eléctrica.

### ***Tamizado continuo con tiempo preestablecido de funcionamiento***

A diferencia del caso anterior, aquí se activa el timer y se preestablece un tiempo de funcionamiento entre 5 y 30 minutos. Transcurrido el tiempo introducido, la tamizadora se detiene automáticamente.

### ***Tamizado intermitente sin tiempo preestablecido de funcionamiento***

En este caso se activa el modo automático intermitente de vibración para que la tamizadora funcione un tiempo preestablecido, 10, 15, 20, 25, 0 30 segundos, y luego se detenga 3 segundos para luego volver a conectarse, y así sucesivamente hasta que la detengamos manualmente, ya que el timer no ha sido conectado al no establecerse un tiempo de funcionamiento determinado.

### ***Tamizado intermitente con tiempo preestablecido de funcionamiento.***

Igual que el punto anterior, pero en este caso activamos el timer y seleccionamos un tiempo de funcionamiento entre 5 y 30 minutos, así la tamizadora estará funcionando intermitentemente hasta agotar el tiempo preestablecido, apagándose entonces automáticamente.

## **CONCLUSIONES**

La construcción y acoplamiento a una o dos tamizadoras analógicas del equipo DIV-1 permite:

- Llevar cualquier tamizadora analógica con limitaciones tecnológicas a los parámetros óptimos de trabajo que se exigen en los ensayos granulométricos en los laboratorios modernos.
- Evitar la compra de tamizadoras digitales que son las que se fabrican en la actualidad, y cuyo precio actual es de alrededor de 2000 USD.
- Ahorrar moneda libremente convertible, ya que el dispositivo DIV-1 se construye con piezas que proceden de otros equipos discontinuados y a un costo de aproximadamente 30 USD, con lo cual se aprecia que el ahorro es significativo.
- Poner en funcionamiento óptimo equipos que por su solidez y fácil reparación son ideales para nuestras condiciones.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Juárez Badillo, E; Alfonso, Rico. 1969. Mecánica de Suelos. Edición Revolucionaria. Instituto del Libro. La Habana, Cuba. Tomo I. 443p.
- Kaurichev, I.S et al. 1984. Prácticas de Edafología. Editorial Mir, Moscú. 287p.
- Von Bernuth, Götz. 1991. Particle size analysis in the laboratory, technology and equipment. Fritsch GMBH, Manufacturers of laboratory instruments. Germany.

Componentes internos de DIV-1

<p>IC</p> <p>NE556----- 1</p> <p>K176RA7----1</p> <p>MA7812----- 1</p> <p><u>Transistores</u></p> <p>BC548-----1</p> <p>BD137-----1</p>	<p><u>Diodos</u></p> <p>IN4007-----5</p> <p>Let----- 3</p> <p><u>Condensadores</u></p> <p>2200 µf / 25v----1</p> <p>1000 µf / 25v----1</p> <p>470 µf / 25v----1</p> <p>10 µf /16v-----1</p> <p>0.5 µf----- 1</p> <p>0.01µf----- 2</p>
<p><u>Resistencias</u></p> <p>3 de 750 K Ohm</p> <p>1 de 1.8 K Ohm</p> <p>1 de 3.9 K Ohm</p> <p>1 de 6.0 K Ohm</p> <p>1 de 18 K Ohm</p> <p>1 de 22 K Ohm</p> <p>1 de 30 K Ohm</p> <p>1 de 43 K Ohm</p> <p>1 de 54 K Ohm</p> <p>1 de 65 K Ohm</p> <p>1 de 185 K Ohm</p> <p>1 de 375 K Ohm</p> <p>1 de 550 K Ohm</p> <p>1 de 730 K Ohm</p> <p>1 de 930 K Ohm</p> <p>1 de 1070 K Ohm</p>	<p><u>Otros</u></p> <p>2 interruptores rotatorios de 6 posiciones</p> <p>3 interruptores simple polo doble tiro</p> <p>2 push boton</p> <p>1 portas fusible e/ fusible 250 MD</p> <p>1 indicador neón de 220 V con su base</p> <p>2 tomas de 220 V para espigas redondas</p> <p>1 reele de 12 V con doble contactos N.C. con capacidad de 10 Amp. En los contactos</p> <p>1 cable dúplex No. 12 de 1.5 m con espiga de 220 V</p> <p>1 transformador pequeño de 220 /15 V</p>



Dispositivo DIV-1 acoplado a una tamizadora. El dispositivo puede acoplarse a dos tamizadoras simultáneamente.





## ESTUDIO PRELIMINAR DEL BENEFICIO DE UNA MUESTRA DE SKARN GRANATIFERO DEL YACIMIENTO “ARROYO LA POZA” PERTENECIENTE AL CAMPO MINERAL “HIERRO SANTIAGO”

**Misael Pérez Pérez<sup>(1)</sup>, Emilio Montejo<sup>(1)</sup>, Ileana Cabrera<sup>(1)</sup>, Juan Estrada<sup>(1)</sup>, Mirtha Frómeta<sup>(1)</sup>, Antonio Águila<sup>(1)</sup>, Alberto Rodríguez<sup>(1)</sup>, Andrés García<sup>(1)</sup>.**

**(1) Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica. Carretera Varona #12028 Km 1 ½, Capdevila, Boyeros, Ciudad de La Habana, Cuba E-mail: [cipimm@ip.minbas.cu](mailto:cipimm@ip.minbas.cu)**

### RESUMEN.

A una muestra de Skarn Granatífero de la Región Hierro Santiago, específicamente del yacimiento “La Poza” se realiza su preparación y caracterización. Los resultados demuestran que los contenidos de granate son bajos < 15 % y del tipo grosularia. Las impurezas presente además de la magnetita (anfíbol, piroxenos, cuarzo, etc.), unido al estrecho entrecrecimiento presente, complican el procedimiento para el beneficio, con el objetivo de obtener concentrados de granate de alta ley.

Se estudio el beneficio por esquemas combinados de separación magnética de baja y de alta intensidad y de separación gravimétrica y magnética de baja y de alta intensidad. Los resultados alcanzados corroboran la difícil beneficiabilidad de estos minerales, lográndose concentrados de muy baja ley (< 30 %) y de relativamente baja recuperación.

En base a lo anterior no son aptos estas menas para obtener concentrados de granate de alta ley, pero dada las características abrasivas de los principales especies minerales presentes se pudiera emplear el mineral convenientemente triturado, molido y clasificado como arena para sand blasting de calidad superior, lo cual debe corroborarse por pruebas de uso.

### ABSTRACT

The preparation and characterization of a sample of the Garnetiferous Skarn from the “Hierro Santiago” Region, specifically from the “La Poza” deposit, is being carried out. The results show that the garnet contents are low (<15%) and are type grosularia. The impurities present, besides magnetite (anfibol, piroxens, quartz, etc.), together with the narrow intergrowing present complicate the beneficiation proceeding, with the objective of obtaining high grade garnet concentrates.

It was also studied the beneficiation through combined schemes of magnetic separation of low and high intensity and de gravimetric and magnetic separation of low and high intensity. The results achieved corroborate the difficulty to beneficiate these minerals, achieving concentrates of very low grade (< 30%) and of relatively low recovery.

Based on what we said before, these deposits are not good to obtain high grade garnate concentrates, but due to their abrasive characteristics of the main species of mineral present, they could be used, after conveniently crushed, ground and classified as sand for high quality sand blasting, but this must be corroborated through use tests.

### INTRODUCCION.

La provincia de Santiago de Cuba posee importantes yacimientos de minerales de hierro, los cuales han sido estudiados y en la actualidad se cuenta con importante reservas del mismo. La roca formadora de estos yacimientos denominada "Skarn" son ricas en granate

y se estiman reservas muy importantes del mismo. Este mineral tiene amplio uso como abrasivo en la industria.

En el año 1999 fue enviada al CIPIMM una muestra del Skarn Granatífero del yacimiento de minerales magnetíticos de “La Yuca” con el objetivo de evaluarse como arena para “Sand Blasting”, ya que se habían realizado producciones de arena con la mena de magnetita con resultados positivos [1], al poseer una buena capacidad abrasiva y no causar problemas medio ambientales, pues no contiene sílice libre (cuarzo) causante de la enfermedad profesional conocida como silicosis.

Se estimaba que los recursos del Skarn Granatífero con un contenido alto de magnetita y de granate entre otros minerales, debían tener mejores propiedades abrasivas debido a que el granate, entre sus propiedades se destacan su alta dureza (7-8 en la escala de Mohs), su baja nocividad y su alta abrasividad (debido a la generación de aristas en los granos al romperse), superior al de la magnetita. Además se le daba uso a un recurso mineral que constituía un desecho (escombros), de la explotación de los minerales de hierro (magnetitas).

Los resultados sobre el estudio del beneficio de la muestra del Skarn del yacimiento La Yuca demostraron la posibilidad de obtener concentrados de granate de alta ley (> 90 %) en las granulometrías finas para su empleo en la industria para máquinas de corte por chorro de agua, por medio de un esquema muy simple de separación magnética de baja intensidad [2].

Debido a la ubicación geográfica de este yacimiento (cerca de la Gran Piedra), sus bajas reservas, al ángulo de buzamiento del cuerpo mineral (que disminuye de forma notable las reservas extraíbles), el estar concesionado a una empresa mixta para su empleo como corrector de hierro en la producción de cemento y posiblemente a dudas sobre la representatividad de la muestra enviada, la Empresa Geominera Santiago de Cuba decidió pese a los buenos resultados alcanzados en las investigaciones desarrolladas en el año 2000 en el yacimiento “La Yuca”, investigar en otro yacimiento de la región “Hierro Santiago” las posibilidades de empleo del Skarn Granatífero en abrasivos para la industria.

Amparados en el contrato 239-04-6 entre la Empresa Geominera Oriente y el CIPIMM se inician en el año 2004 las investigaciones sobre el Skarn Granatífero del Yacimiento de mineral magnetítico de “Arroyo La Poza” ubicado en el campo mineral “Hierro Santiago” de la provincia Santiago de Cuba con el objetivo de evaluar sus posibilidades de beneficio para la obtención de concentrados de granate de alta ley y de arena abrasiva de alta calidad para su empleo en “Sand Blasting”, desarrollando a nivel de laboratorio una tecnología apropiada para el aprovechamiento de estos recursos que permitan la evaluación económica del yacimiento y la elevación de categoría los mismos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la ejecución de este estudio se utilizó un equipo de separación electromagnética SM-138T de intensidad variable desde 0.1- 1.24 Tesla.

Los análisis químicos se realizaron por los procedimientos establecidos en el Laboratorio certificado del CIPIMM mediante ICP-OES (espectroscopia de emisión con plasma inducido por acoplamiento).

La composición mineralógica se determina mediante Espectroscopia de difracción de Rayos-X (DRX) en un equipo PHILLIPS.

Los análisis mineralógicos se realizaron mediante microscopia óptica con luz natural (lupas binocular). En un equipo Hund Wetzlar.

Para la trituración, molienda y clasificación del mineral Skarn Granatífero. Triturador de Quijada DENVER(Entrada:6"x5"(162x128mm) Salida:10 mm), Triturador de Quijada Braun - Chipmunk (Entrada:108x62mm Salida:9 mm),Triturador de Quijada Braun–Chipmunk (Entrada: 80 x 45 mm Salida: 8 mm), Triturador de Quijada TM - Engineering (Entrada: 187 x 120mm Salida: 3 mm), Molino de Rodillos DENVER (Diámetro: 10" (254 mm) Ancho: 6" (153 mm) Salida: 2 mm) y Zaranda Vibratoria Soviética Área Efectiva: 0.225 m<sup>2</sup> (dimensiones reales:largo: 80mm ancho: 35 cm)

### Preparación y caracterización de las muestras.

La muestra de aproximadamente 180 kg de peso recibida en el CIPIMM el mes de abril del 2004, con el objetivo obtener una arena para Sand Blasting con el máximo rendimiento en fracción útil (- 2.0 + 0.6 mm). Para lograrlo se siguió el esquema de preparación que aparece en la Fig. 1, ANEXO 1 y con el que se pretende minimizar la producción de finos (- 0.6 mm).

Una muestra representativa de la fracción molida bajo 2 mm fue preparada para la caracterización por medio del esquema que aparece representado en la Fig. 2, ANEXO 1 y los resultados aparecen reflejados en la tabla I y se comparan con los resultados obtenidos por un esquema similar con una muestra del yacimiento "La Yuca" [1].

Tabla I. Resultados de la preparación de la muestra.

Fracción Granulométrica (mm)	Yac. "La Poza". Rend. en Peso (%)	Yac. "La Yuca". Rend. en Peso (%)	Diferencia (La Poza - La Yuca) (%)
- 2.0 + 0.6 (fracción útil)	65.51	44.81	20.70
- 0.6	34.49	55.19	-20.70
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>

Como se puede observar en la tabla I de los resultados de la preparación indican un alto rendimiento de la fracción útil para "Sand Blasting", muy superior al obtenido en el caso de la trituración y molienda del Skarn granatífero del yacimiento "La Yuca", donde solo se alcanzó 44.81 %.

La composición química de la muestra es:

% SiO <sub>2</sub> - 40.21	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 11.98	% CaO - 9.45	% MgO - 3.74
% K <sub>2</sub> O - 0.30	% Na <sub>2</sub> O - 0.095	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 31.65	% TiO <sub>2</sub> - 0.017
% FeO - 3.68	% MnO <sub>2</sub> - 0.23	% SO <sub>3</sub> - 0.067	% CO <sub>2</sub> - no se detecta
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 0.07			

La composición mineral cualitativa de las muestras, en orden de importancia es la siguiente: Magnetita, Cuarzo, Granate, Anfíbol fundamentalmente Hornblenda, Piroxenos

– Augita, Feldespatos y en menor proporción Epidota y Clorita. La composición cuantitativa de las muestras se puede observar en la tabla II, ANEXO 1.

El mineral de interés Granate fundamentalmente es de color rojizo marrón, rosado caracterizado por difracción de RX como Grosularia  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ , Fig. 3; esto lo diferencia del yacimiento “La Yuca” donde el granate identificado fue Andradita.

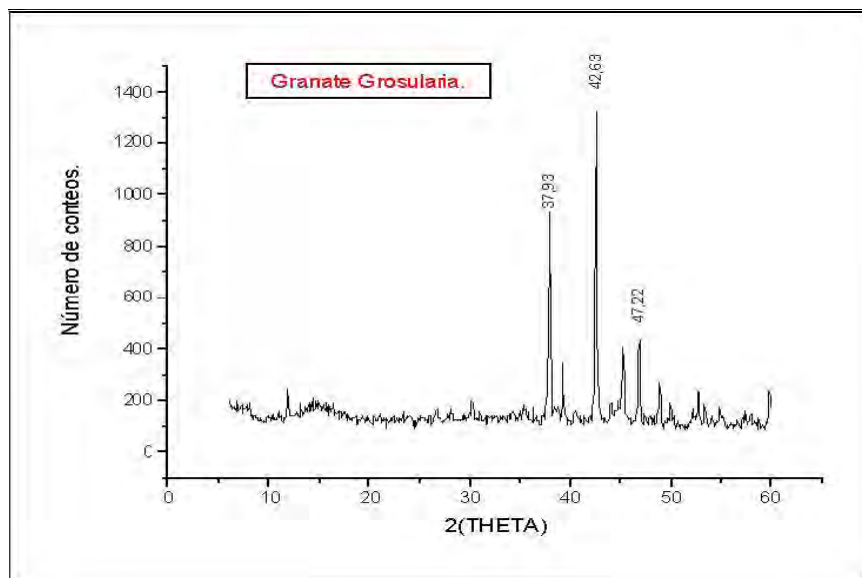


Fig. 3. Difractograma de Rayos X de una muestra monomineral de granate del yacimiento “Arroyo La Poza”.

El granate se presenta en masas granulares y en tamaños muy variados. En tamaños menores de 0,045 mm su contenido disminuye. Por debajo de 0,5 mm se encuentra prácticamente liberado todo el granate presente.

En la Tabla II, ANEXO 2, aparecen los resultados de la caracterización granulométrica de la muestra de cabeza molida bajo 2 mm y el análisis mineralógico por fracciones respecto a las especies mineralógicas principales presentes, en base al plan de trabajo acordado con el cliente.

### **Análisis de Resultados de la Caracterización**

Los resultados alcanzados en la caracterización demuestran que el Skarn Granatífero del yacimiento “Arroyo La Poza” tiene un contenido relativamente bajo de granate 13.62 %, respecto al pasaporte de la muestra que plantea un 20 %, mientras de los contenidos de magnetita y cuarzo son similares a lo que plantea el mismo.

La mineralogía de la muestra enviada augura una mayor complejidad en el beneficio con vista a obtener concentrados de granate de alta ley, respecto al Skarn Granatífero del yacimiento la Yuca debido a:

- Mucho menor contenido de granate.
- Menor contenido de magnetita.

- Mayor contenido de cuarzo y una distribución relativamente alta en todas las fracciones.
- Presencia significativa de otros minerales (silicatos) de peso específicos similares al granate.
- Minerales con susceptibilidades magnéticas muy similares al granate.

A lo anterior se une que en los conteos mineralógicos, al realizar las separaciones magnéticas y electromagnéticas, el granate (pese a estar liberado) presentaban un comportamiento anómalo, detectándose en cantidades significativas en las distintas fracciones.

Adicionalmente a esto el procesamiento de yacimientos de abrasivos a nivel mundial cuando son del tipo aluvial, es posible obtener concentrados de granate, por métodos hidrogravimétricos muy baratos, aun cuando los contenidos sean < 15 %. En aquellos que el granate se encuentra en rocas masivas debido a los costos de trituración y molienda se plantean que deben tener mas de un 50 % de contenido de granate. Así se explotan económicamente yacimientos en Canadá, USA, etc. [3][4].

Las razones anteriores nos permiten pronosticar que no son buenas las perspectivas de encontrar una tecnología apropiada para la obtención de concentrados de granates de alta ley para el Skarn Granatífero de "Arroyo La Poza", como la que fue encontrada para el del yacimiento "La Yuca".

Respecto al empleo directo de este Skarn como arena para tratamiento por "Sand Blasting", se puede considerar por su composición mineralógica, que es superior a una arena de cuarzo, pues tiene un contenido de granate de casi un 15 % que no solo le aporta su mayor dureza sino su mayor calidad como abrasivo (regeneración de aristas) y de mas de un 30 % de magnetita, ya probada con buenos resultados por la empresa EMCOR de Santiago de Cuba [1] y por tanto tiene menos de 30 % de cuarzo (sílice libre). Todo esto le da un alto poder abrasivo y un menor efecto contaminante, por lo que debe comportarse como un abrasivo superior a la arena de cuarzo.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

Los flujos para el procesamiento de cada granulometría están en función de que la cama de mineral que se alimenta al rodillo magnetizado sea lo mas delgada posible (prácticamente de un grano de espesor) y que se extienda por toda la superficie del alimentador de forma que el rodillo del equipo funcione lo mas eficientemente posible. Esto se logra regulando la chaveta de salida de la tolva de alimentación.

El mineral triturado bajo 2 mm se clasificó para el beneficio por fracciones granulométricas similares a las empleadas para estos tipos de productos y en concordancia con el plan de trabajo acordado. Los resultados de esta clasificación, así como su caracterización mineralógica aparecen recogidas en la tabla III, ANEXO 2.

Las muestras por fracciones se sometieron a un esquema de beneficio de separación magnética de baja intensidad, con vista a eliminar con la fracción magnética la magnetita presente en el mineral, para después someter la fracción no magnética a un proceso de separación de alta intensidad, con vista a obtener un concentrado de granate en la fracción electromagnética [4]. En cada nivel de intensidad se emplean una separación básica y 2 limpiezas.

#### Separación Baja Intensidad.

- Intensidad de Corriente (Amp.): 0.5
- Intensidad de Campo Magnético (Tesla): 0.10

#### Separación Alta Intensidad.

- Intensidad de Corriente (Amp.): 8.0
- Intensidad de Campo Magnético (Tesla): 1.24

Los resultados alcanzados en las pruebas realizadas por el esquema de la figura 4 y las condiciones en que se ejecutaron las pruebas aparecen recogidas en las tablas IV, V y VI.

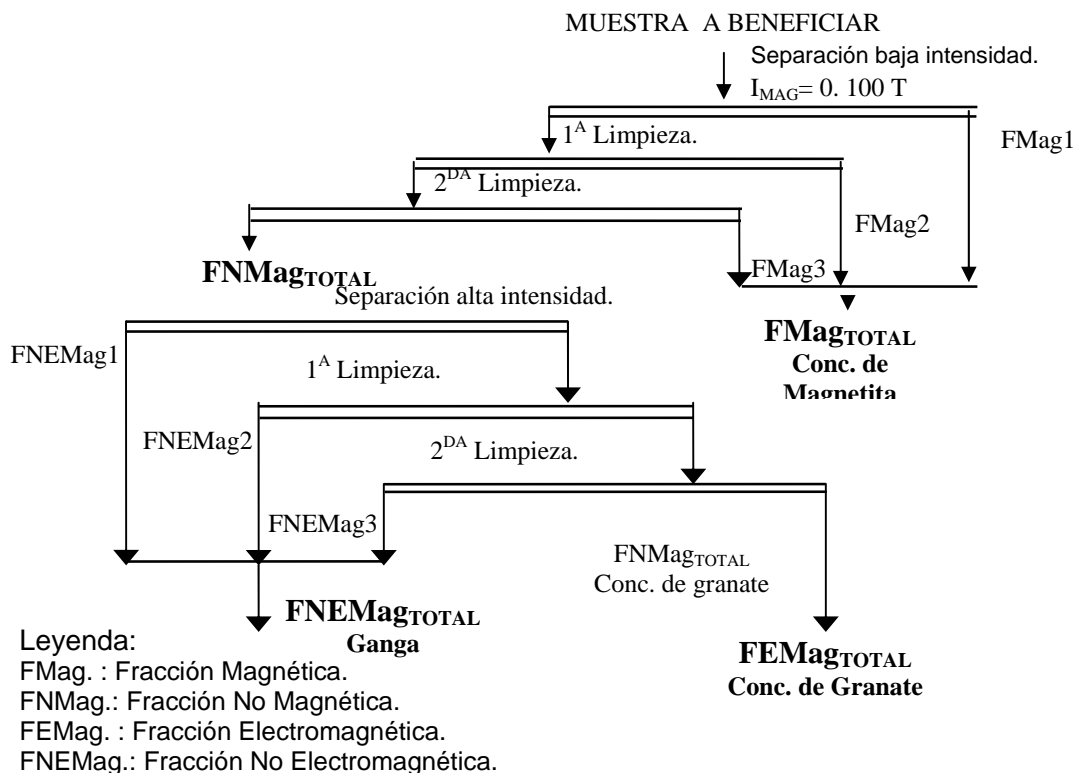


Fig. 4 Esquema de beneficio empleado para la separación magnética vía seca.

Tabla IV. Resultados de las pruebas de separación magnética por un esquema combinado de baja y alta intensidad de la fracción - 0.6 + 0.4 mm.

No Prueba	RESULTADOS ALCANZADOS									
	Productos	Rend. (%)	CONTENIDOS (%)				RECUPERACIÓN (%)			
			GT	MAG	Q	OT	GT	MAG	Q	OT
1	FMagT	67.31	16.56	54.04	21.33	8.07	63.19	100.00	46.51	35.93
	FNMagT <sub>TAL</sub>	12.58	9.80	0.00	77.09	13.11	6.99	0.00	31.42	10.91
	FEM <sub>TOTAL</sub>	20.11	26.16	0.00	33.88	39.96	29.83	0.00	22.07	53.16
	<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>17.64</b>	<b>36.37</b>	<b>30.87</b>	<b>15.12</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>	<b>100.00</b>

- Flujo Promedio (Kg/h): 2.12

- Separación de la placa (mm): 10 - 15



Tabla V. Resultados de las pruebas de separación magnética por un esquema combinado de baja y alta intensidad de la fracción - 0.4 + 0.2 mm.

o Prueba	RESULTADOS ALCANZADOS									
	Productos	Rend. (%)	CONTENIDOS (%)				RECUPERACIÓN (%)			
			GT	MAG	Q	OT	GT	MAG	Q	OT
2	FMagT	59.75	13.54	56.00	15.51	14.94	49.39	100.00	31.22	43.62
	FNEMag <sub>TO</sub>	16.75	15.05	0.00	81.13	3.82	15.39	0.00	45.75	3.12
	TAL									
	FEM <sub>TOTAL</sub>	23.51	24.54	0.00	29.09	46.37	35.21	0.00	23.03	53.25
	<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>16.38</b>	<b>33.46</b>	<b>29.69</b>	<b>20.47</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>

• Flujo Promedio (Kg/h): 2.09

• Separación de la placa (mm): 10 - 15

Tabla VI. Resultados de las pruebas de separación magnética por un esquema combinado de baja y alta intensidad de la fracción - 0.2 + 0.1 mm.

No Prueba	RESULTADOS ALCANZADOS									
	Productos	Rend. (%)	CONTENIDOS (%)				RECUPERACIÓN (%)			
			GT	MAG	Q	OT	GT	MAG	Q	OT
3	FMagT	49.13	16.36	63.50	17.11	3.03	47.23	100.00	27.48	7.03
	FNEMag <sub>TO</sub>	18.34	14.50	0.00	78.90	6.60	15.63	0.00	47.31	5.71
	TAL									
	FEM <sub>TOTAL</sub>	32.53	19.42	0.00	23.71	56.87	37.14	0.00	25.21	87.26
	<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>17.01</b>	<b>31.20</b>	<b>30.59</b>	<b>21.20</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>

• Flujo Promedio (Kg/h): 2.09

• Separación de la placa (mm): 10 - 15

En estas pruebas por granulometrías se puede observar que en la fracción magnética se logró una eficiente separación de la magnetita, no así las otras especies, incluyendo el granate y como se manifestó ya en los estudios mineralógicos hay una parte de las especies que se comportan con una susceptibilidad magnética superior a la teórica.

En ningún momento se obtiene un concentrado de granate comercial (> 90 %) y solo en la fracción electromagnética se obtiene un contenido de granate ligeramente superior a la cabeza (19 - 26 %), pero con una recuperación también muy baja (29 - 37 %).

En base a estos resultados tan negativos en el beneficio, se decidió realizar una prueba multietapa con la granulometría - 0.2 + 0.1 mm, para determinar si existía alguna condición en la que se obtuviera un concentrado que se acercara a los grados comerciales. El esquema tecnológico empleado aparece recogido en la figura 5, ANEXO 3 y los resultados generales en la tabla VII

Tabla VII. Resultados Generales de la prueba multietapa de separación magnética vía seca de la fracción -0.2 + 0.1 mm.

No Prueba	Granulometría (mm)	Separación placas. (mm)	I (A)	I (Tesla)	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS			
					Productos	Rend. Peso (%)	Cont. Granate (%)	Recup. Granate (%)
4	- 0.2 + 0.1	10 - 15	0.00	0.025	FMag <sub>TOTAL</sub>	41.05	3.44	11.90
			0.25	0.050	FEMag <sub>1</sub>	5.13	7.98	3.45
			0.50	0.100	FEMag <sub>2</sub>	5.13	11.34	4.91
			0.75	0.180	FEMag <sub>3</sub>	7.53	21.27	13.50
			1.00	0.230	FEMag <sub>4</sub>	2.40	22.35	4.53
			1.50	0.330	FEMag <sub>5</sub>	10.70	15.79	14.24
			2.00	0.420	FEMag <sub>6</sub>	6.55	19.08	10.54
			3.00	0.580	FEMag <sub>7</sub>	8.08	28.80	19.62
			4.00	0.690	FEMag <sub>8</sub>	3.49	15.79	4.65
			8.00	1.240	FEMag <sub>9</sub>	3.93	12.46	4.13
					FNEMag <sub>FINAL</sub>	6.00	16.89	8.55
					Alimentación	100.00	11.86	100.00

Leyenda:

FMag<sub>TOTAL</sub>: Fracción Magnética Total.

FEMag<sub>i</sub>: Fracción Electromagnética de la etapa i.

FNEMag<sub>FINAL</sub>: Fracción Electromagnética Fina

De los resultados de esta prueba se puede apreciar que solo existe un efecto ligero de beneficio en la Fracción No Magnética por el empleo de intensidades de campo de 0.100 Tesla que corresponde con campos magnéticos de baja intensidad.

En base a ello, se agruparon los productos obtenidos según el esquema de la figura 5 de la forma siguiente:

- Todas las fracciones magnéticas obtenidas hasta 0.100 Tesla (denominadas como FMag<sub>TOTAL</sub>; FEMag<sub>1</sub> y FEMag<sub>2</sub>) se nombró como **FMag<sub>TOTAL</sub>**. El resto de la muestra no magnética a esta intensidad de campo se le nombró **FNMag<sub>TOTAL</sub>**.
- El procesamiento de la anterior **FNMag<sub>TOTAL</sub>** por intensidades de campo entre 0.18 - 0.58 Tesla dio como resultado la **FEMag<sub>TOTAL</sub>**, integrada por la FEMag<sub>3</sub> hasta la FEMag<sub>8</sub>, que son las de mas alto contenido de granate y la **FNEMag<sub>TOTAL</sub>** (que comprende la FEMag<sub>8</sub>, la FEMag<sub>9</sub> y la FNEMag<sub>FINAL</sub>).

En la tabla VIII aparece este agrupamiento de los de los productos obtenidos, para analizar las condiciones idóneas para el procesamiento.

Tabla VIII Resultados de la prueba multietapa de separación magnética vía seca de la fracción - 0.2 + 0.1 mm

No Prueba	Granulo-metría (mm)	Separa-ción placas. (mm)	I (A)	I Cpo Mag. (Tesla)	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS			
					Productos	Rend. Peso (%)	Cont. Granate (%)	Recup. Granate (%)
4	- 0.2 + 0.1	10 - 15	0.50	0.100	<b>FMag<sub>TOTAL</sub></b>	51.31	4.68	20.26
					<b>FNMag<sub>TOTAL</sub></b>	48.69	19.43	79.74
			0.75	0.180	FEMag3	7.53	21.27	13.50
			1.00	0.230	FEMag4	2.40	22.35	4.53
			1.50	0.330	FEMag5	10.70	15.79	14.24
			2.00	0.420	FEMag6	6.55	19.08	10.54
			3.00	0.580	FEMag7	8.08	28.80	19.62
					<b>FEMag<sub>TOTAL</sub></b>	35.26	21.00	62.42
					<b>FNEMag<sub>TOTAL</sub></b>	13.43	15.31	17.32
					<b>Alimentación</b>	<b>100.00</b>	<b>11.86</b>	<b>100.00</b>

Como se puede observar se obtiene con un campo de 0.100 Tesla un concentrado de magnetita, en la fracción magnética, con un contenido de granate relativamente bajo. En la fracciones electromagnéticas desde 0.18 hasta 0.58 Tesla existe un ligero efecto de beneficio, pero aún muy alejado de los requerimientos de calidad para concentrados de granate.

El empleo de mayores campos magnéticos (> 0.100 Tesla) no tienen un efecto sustancial sobre el contenido de granate y la fracción no magnética (**FNMag<sub>TOTAL</sub>**) tiene un contenido de granate de 19.43 y una recuperación de 79.74 % contra un 21.00 % en la fracción electromagnética (**FEMag<sub>TOTAL</sub>**) obtenida a campos entre 0.18 – 0.58 Tesla y con una recuperación de solo 62.42 %.

Este incremento tan pobre de contenido y la sustancial pérdida de recuperación, no justificaría el empleo de los costosos equipos de separación magnética de alta intensidad. Por tanto el esquema a emplear en caso de querer obtener un preconcentrado de granate sería el que aparece en la figura 6.

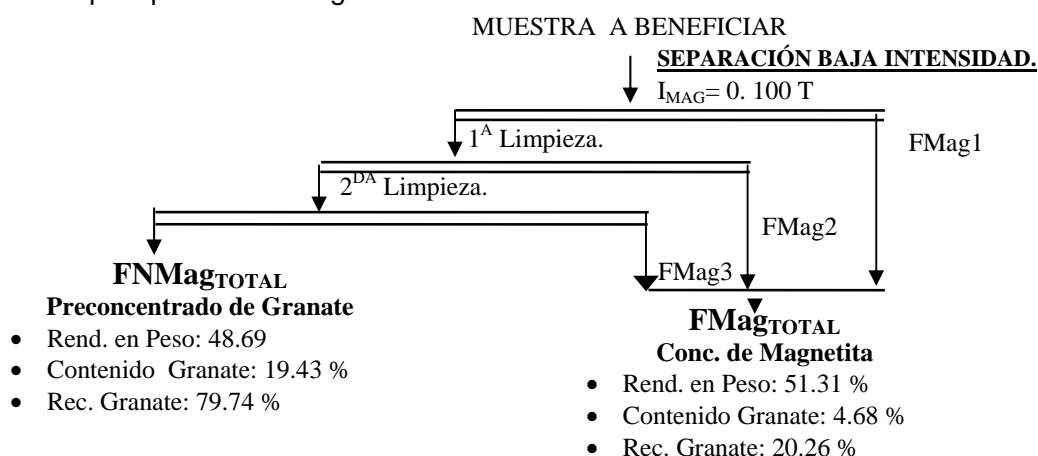


Fig. 6. Esquema de Beneficio Magnético más conveniente para la fracción - 0.2 + 0.1 mm

Con vista a agotar las posibilidades de obtener concentrados de granate de mejor ley y teniendo en cuenta los resultados anteriores, se probó otra variante de procesamiento. En ella se introdujo una separación gravimétrica, con vista a separar previamente en la fracción ligera, una parte importante del cuarzo y solo la fracción pesada fue la que se sometió a la separación magnética de baja y alta intensidad. Se empleo para esta separación un liquido denso, en este caso bromoformo con una densidad entre 2.7 - 2.8 g/cm<sup>3</sup>. En la separación magnética de la fracción pesada, solo se elevó la intensidad de campo magnético hasta 0.69 Tesla, pues se había observado en la prueba anterior que a mayores valores de intensidad no había resultados positivos. En la figura 7, ANEXO 3 aparece el esquema de procesamiento de esta variante, mientras que en la tabla IX aparecen los resultados de este esquema combinado.

Tabla IX. Resultados Generales de la prueba de beneficio combinado medios densos separación magnética de baja y alta intensidad (multietapas) vía seca, de la fracción -0.2 + 0.1 mm, de la muestra de Skarn Granatífero de "Arroyo La Poza".

No Prueba	Granulo- metría (mm)	Separa- ción placas. (mm)	I (A)	I Camp Mag. (Tesla)	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS			
					Productos	Rend. Peso (%)	Cont. Granat e (%)	Recup. Granate (%)
5	- 0.2 + 0.1	10 - 15	SEPARACIÓN MEDIOS DENSOS		Fracc. Ligera	29.09	4.96	14.90
					Fracc.Pesada	70.91	11.62	85.10
			0.00	0.025	FMag <sub>TOTAL</sub>	35.56	4.09	15.03
			0.25	0.050	FEMag <sub>1</sub>	7.37	13.02	9.92
			0.50	0.100	FEMag <sub>2</sub>	2.32	23.00	5.52
			0.75	0.180	FEMag <sub>3</sub>	2.02	26.50	5.53
			1.00	0.230	FEMag <sub>4</sub>	1.92	25.50	5.06
			1.50	0.330	FEMag <sub>5</sub>	15.35	21.30	33.78
			2.00	0.420	FEMag <sub>6</sub>	2.93	17.04	5.16
			3.00	0.580	FEMag <sub>7</sub>	1.41	14.30	2.09
			4.00	0.690	FEMag <sub>8</sub>	0.71	7.35	0.54
					FNEMag <sub>FINAL</sub>	1.31	18.29	2.48
					Alimentación	100.00	9.68	100.00

Leyenda:

FMag<sub>TOTAL</sub>: Fracción Magnética Total.

FEMag<sub>i</sub>: Fracción Electromagnética de la etapa i.

FNEMag<sub>FINAL</sub>: Fracción Electromagnética Final.

Como puede observarse, los resultados alcanzados corroboran las dificultades previstas en el beneficio de esta muestra. Pese a la mayor complejidad de esta variante los resultados son inferiores al esquema anterior de separación magnética de baja intensidad propuesto en la figura 6.

Para poder comparar con la variante anterior los productos obtenidos según el esquema de la figura 7, ANEXO 3 se agruparon de la forma siguiente:

- Todas las fracciones magnéticas obtenidas hasta 0.025 Tesla de la Fracción Pesada (denominadas como **FMag<sub>TOTAL</sub>**, en la figura 7) se nombró como **FMag<sub>TOTAL</sub>**. El resto de la muestra no magnética a esta intensidad de campo se le nombró **FNMag<sub>TOTAL</sub>**.
- El procesamiento de la anterior **FNMag<sub>TOTAL</sub>** por intensidades de campo de campo entre 0.05 - 0.58 Tesla dio como resultado la **FEMag<sub>TOTAL</sub>**, integrada por la **FEMag<sub>1</sub>** hasta la **FEMag<sub>7</sub>**, que son las de mas alto contenido de granate y la **FNEMag<sub>TOTAL</sub>** (que comprende la **FEMag<sub>8</sub>** y la **FNEMag<sub>FINAL</sub>**).

En la tabla X aparece este agrupamiento de los de los productos obtenidos, para analizar las condiciones idóneas para el procesamiento.

Tabla X. Resultados de la prueba de beneficio combinado combinado medios densos - separación magnética de baja y alta intensidad (multietapas) vía seca, de la fracción -0.2 + 0.1 mm, de la muestra de Skarn Granatífero de "Arroyo La Poza", agrupados los productos según los resultados alcanzados.

No Prue ba	Granulo- metría (mm)	Separa- ción placas. (mm)	I (A)	I Campo Mag. (Tesla)	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS			
					Productos	Rend. Peso (%)	Cont. Granate (%)	Recup. Granate (%)
5	- 0.2 + 0.1	10 - 15	SEPARACIÓN MEDIOS DENSOS		Fracc. Ligera	29.09	4.96	14.90
					Fracc. Pesada	70.91	11.62	85.10
			0.00	0.025	<b>FMag<sub>TOTAL</sub></b>	35.56	4.09	15.03
					<b>FNMag<sub>TOTAL</sub></b>	35.35	19.19	70.07
			0.25	0.050	FEMag <sub>1</sub>	7.37	13.02	9.92
			0.50	0.100	FEMag <sub>2</sub>	2.32	23.00	5.52
			0.75	0.180	FEMag <sub>3</sub>	2.02	26.50	5.53
			1.00	0.230	FEMag <sub>4</sub>	1.92	25.50	5.06
			1.50	0.330	FEMag <sub>5</sub>	15.35	21.30	33.78
			2.00	0.420	FEMag <sub>6</sub>	2.93	17.04	5.16
			3.00	0.580	FEMag <sub>7</sub>	1.41	14.30	2.09
					<b>FNMag<sub>TOTAL</sub></b>	33.33	19.47	67.05
					<b>FNEMag<sub>TOTAL</sub></b>	2.02	14.46	3.02
				<b>Alimentación</b>	<b>100.00</b>	<b>9.68</b>	<b>100.00</b>	

Leyenda: **FMag<sub>TOTAL</sub>**: Fracción Magnética Total.  
**FEMag<sub>i</sub>**: Fracción Electromagnética de la etapa i.  
**FNEMag<sub>TOTAL</sub>**: Fracción NoElectromagnética Total.  
**FNEMag<sub>TOTAL</sub>**: Fracción NoElectromagnética Total.

Del análisis de los resultados de esta prueba se obtiene por la separación con medios densos una fracción ligera que constituye un concentrado de cuarzo (el análisis mineralógico reportó 70.11 % de cuarzo y 0 % de magnetita), mientras que la fracción pesada al realizar la separación magnética a un campo de 0.025 Tesla, se obtiene un concentrado de magnetita en la fracción magnética, con un relativamente bajo contenido de granate. En la fracciones electromagnéticas desde 0.05 hasta 0.58 Tesla existe un ligero efecto de beneficio, pero aún muy alejado de los requerimientos de calidad para concentrados de granate.

El empleo de mayores campos magnéticos ( $> 0.025$  Tesla) no tienen un efecto substancial sobre el contenido de granate y la fracción no magnética (**FNMag<sub>TOTAL</sub>**) tiene un contenido de granate de 19.19 y una recuperación de 70.07 % mientras que la fracción electromagnética (**FEMag<sub>TOTAL</sub>**) obtenida a campos entre 0.05 – 0.58 Tesla, tienen un 19.47 % de contenido de granate y una recuperación de 67.05 %.

Este incremento tan pobre de contenido y la perdida de recuperación, no justificaría el empleo de los costosos equipos de separación magnética de alta intensidad. Por tanto el esquema a emplear en caso de quererse obtener un preconcentrado de granate sería solo con separación magnética de baja intensidad.

En la tabla XI aparece una comparación entre las dos variantes de beneficio estudiadas:

- La variante que comprende solo enriquecimiento magnético de baja intensidad de campo y la denominaremos I.
- La segunda variante que comprende el beneficio combinado de gravimetría (medios densos) - separación magnética de baja intensidad y la denominaremos II.

Tabla XI. Comparación de los resultados del beneficio por las variantes estudiadas.

Variante	Intensidad de campo magnético (Tesla)	Preconcentrado de Granate (FMag <sub>TOTAL</sub> )			
		Rend. en Peso (%)	Contenido de Granate (%)	Recuperación de Granate (%)	Relacion de Concentración
I	0.100	48.69	19.43	79.74	1.64
II	0.025	35.35	19.19	70.07	1.98

Como se ve es evidente que la variante I, con solo separación magnética, presenta indicadores mejores pese a ser tecnológicamente mas sencilla y solo requiere una ligera intensidad de campo mayor.

### Análisis de los Resultados del Beneficio.

Como puede apreciarse los resultados del beneficio son negativos, tal como se esperaba de la caracterización de la muestra. No se logra en ningún momento un concentrado de granate de alta ley, con mas de 90 % de contenido y el mejor concentrado individual no alcanza el 30 %.

Se pueden lograr preconcentrados de granate con contenidos de casi 20 % y aceptable recuperación por una sencilla tecnología de separación magnética de baja intensidad.

No obstante se puede decir que los minerales del Skarn Granatífero del yacimiento de "Arroyo La Poza", solo tienen una utilidad práctica en la obtención de arenas (fracción - 2.0 + 0.6 mm), para su empleo como abrasivo de calidad, en la limpieza de metales por chorro de aire - arena (sand blasting), producto de su contenido de materiales abrasivos de mejor calidad que el cuarzo (granate, magnetita, etc.) y de un menor efecto perjudicial para la salud (solo tiene un contenido de 33 % de sílice libre).

La fracción fina - 0.6 mm se puede emplear en las granulometrías mas gruesas como áridos para morteros en la construcción y los finos emplearse para abrasivos domésticos



para limpieza de utensilios de cocinas, etc. Todo esto debe evaluarse de forma de dar un uso completo al mineral procesado.

## **PROPUESTA DE FLUJO TECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN DE ARENA ABRASIVA (PARA SAND BLASTING).**

### **Variante 1 (vía seca).**

En base a los resultados de este estudio y de forma preliminar se propone el flujo tecnológico que aparece en la Figura 8, para esta variante que emplea la vía seca.

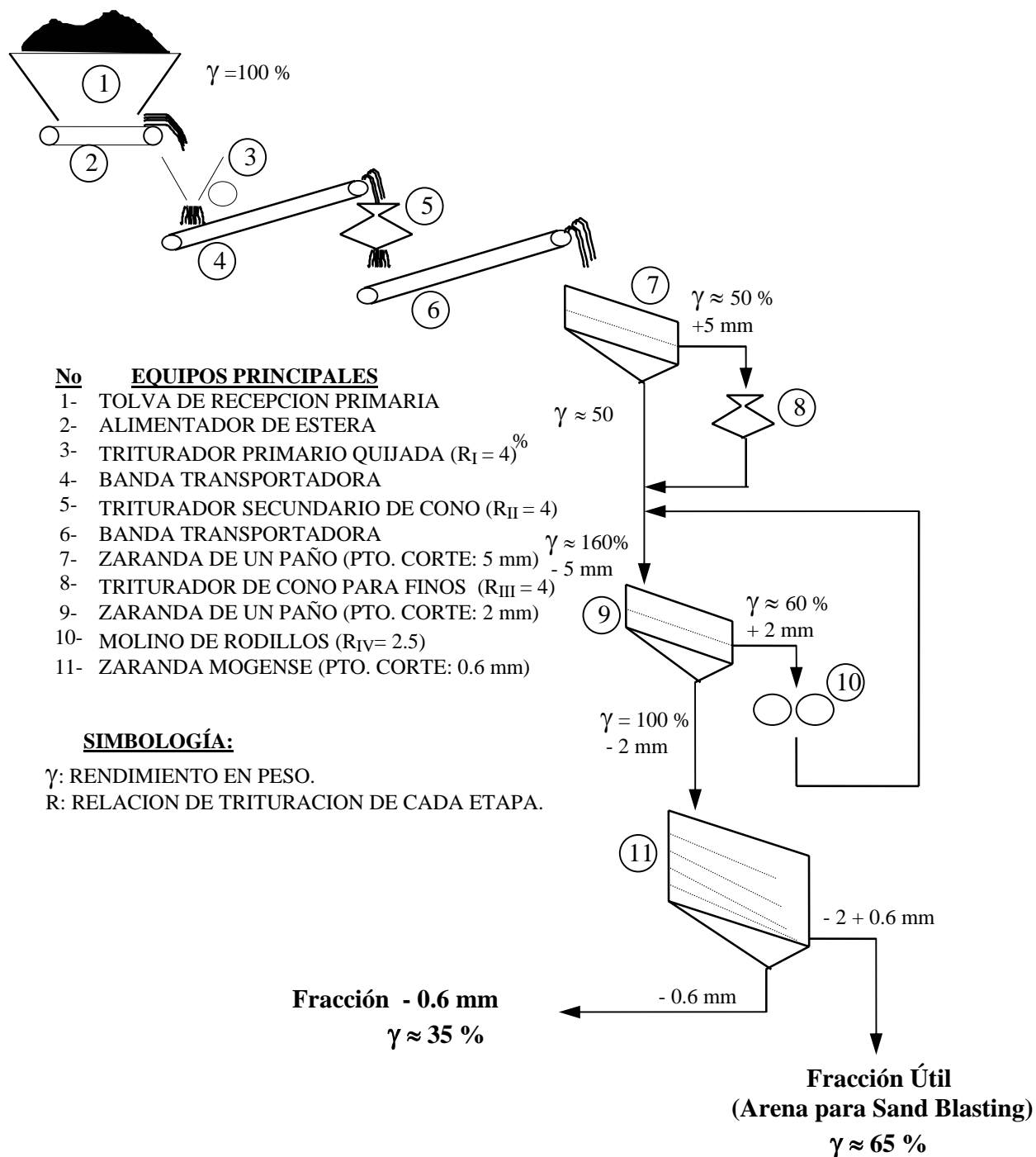
En el mismo se utilizan tres etapas de trituración y una de molienda, no empleándose en ningún momento equipos de trituración por impactos que son altamente formadores de finos y que tuvieron tan mal comportamiento en la producción de arena para Sand Blasting a partir de una mena magnetítica realizada en la planta de polvo de roca de Siboney.

También se emplean relaciones de trituración pequeñas, con vista a minimizar el desgaste excesivo de los equipos.

Los rendimientos en peso que aparecen en la Figura son estimados muy preliminares para emplearse en los cálculos de la evaluación técnico - económica y que deberán comprobarse en pruebas de escala ampliada.

Según el esquema, el mineral procedente de la mina en tamaños inferiores a 300 mm es descargado en una tolva (1), que tiene una parrilla de protección de 300 mm de abertura. De ahí el material por medio de un alimentador de estera (2), pasa al triturador primario de quijada (3) de donde sale bajo 75 mm ( $R_I = 4$ ). El mineral triturado en la I Etapa cae a la banda (4) y es alimentado al triturador de cono secundario (5) donde el mineral sale bajo 20 mm ( $R_{II} = 4$ ) cayendo a la banda (6), pasando a la zaranda de un solo paño (7) que clasifica el material a 5 mm. El sobretamaño pasa a un triturador de cono para finos donde el material es molido bajo 5 mm ( $R_{III} = 4$ ) uniéndose todo el material en la zaranda de un solo paño (9) donde se clasifica a 2 mm. El sobretamaño pasa al molino de rodillos (10) que trabaja en circuito cerrado con la zaranda (9) moliéndose todo bajo 2 mm ( $R_{IV} = 2.5$ ). El material bajo 2 mm pasa a una zaranda MOGENSE (11), especial para las clasificaciones de materiales finos donde se dará el punto de corte inferior de 0.6 mm. El rendimiento industrial en base al estudio (inciso 2.0) se estima en 65 % de Fracción Útil (- 2.0 + 0.6 mm).

Fig. 8. Esquema Tecnológico Preliminar para producir arena para Sand Blasting a partir del Skarn granatífero del yacimiento "Arroyo La Poza". **Variante 1 (vía seca).**



### **Variante 2 (vía húmeda).**

En la Fig. 9 aparece el esquema tecnológico preliminar de esta variante. La sección de trituración y molienda para reducir todo el material bajo 2 mm, es idéntico al de la Fig. 8 (equipos del 1 al 10).

La muestra molida bajo 2 mm es almacenada en la tolva de almacenaje intermedia (11) de donde es dosificada por medio de un alimentador vibratorio (12) a una zaranda de doble paño (13), el primero de abertura 1.2 mm y el segundo de 0.6 mm con vista a dividir el flujo a manejar por cada malla y a la vez proteger el paño inferior de la alta abrasividad del material.

La fracción útil - 2.0 + 0.6 mm, es obtenida sobre los paños y se almacena como producto final en una pila. Será necesario determinar si será necesario el secado ó si el escurrimiento y el oreo es suficiente para su empleo en Sand Blasting.

La fracción - 0.6 mm pasa a un clasificador hidráulico (14) donde se obtienen dos fracciones fundamentales la - 0.6 + 0.1 mm con vista a su empleo como arena fina en morteros para la construcción la cual pasa a un sin fin desaguador (15) pasando las arenas a una pila de almacenaje.

La otra fracción - 0.1 mm que sale del clasificador hidráulico pasa a un sedimentador (16) donde la pulpa con mas de 40 % de sólidos pasa a un filtro prensa (17) de donde se obtiene un producto abrasivo fino para uso domestico. Todas las aguas recuperadas en el sin fin desaguador, el sedimentador y el filtro prensa se recirculan al proceso.

El empleo de la vía húmeda indudablemente encarece el proceso, pero permite obtener un producto desprovisto de polvos que es muy perjudicial en el Sand Blasting y que fue señalado por clientes que evaluaron magnetitas con este fin [1].

Los rendimientos en peso (en las dos variantes) son orientativos para la evaluación técnico-económica preliminar.

Figura 9. Esquema Tecnológico Preliminar para producir arena para Sand Blasting a partir del Skarn granatífero del yacimiento "Arroyo La Poza". **Variante 2 (vía húmeda).**

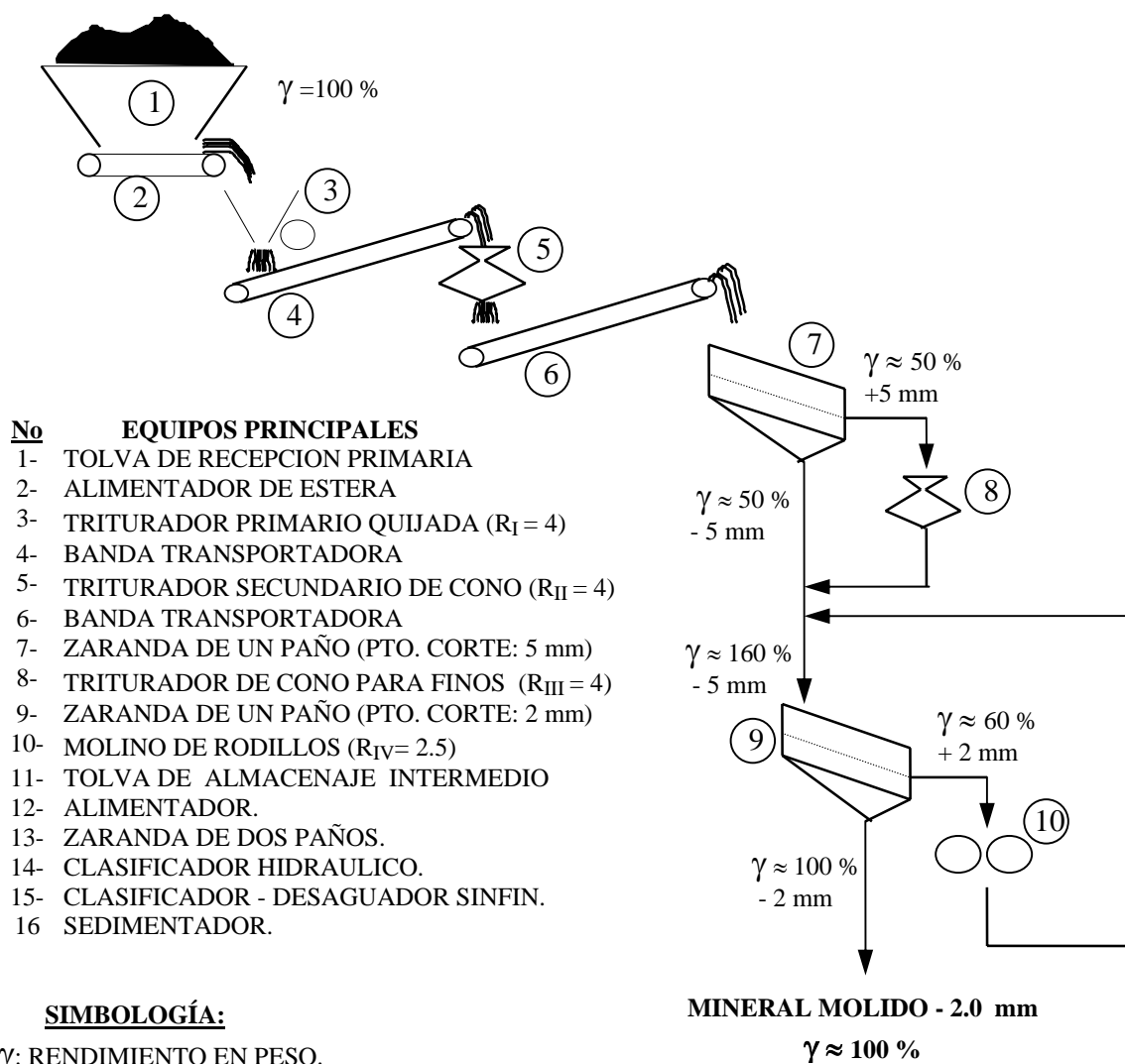
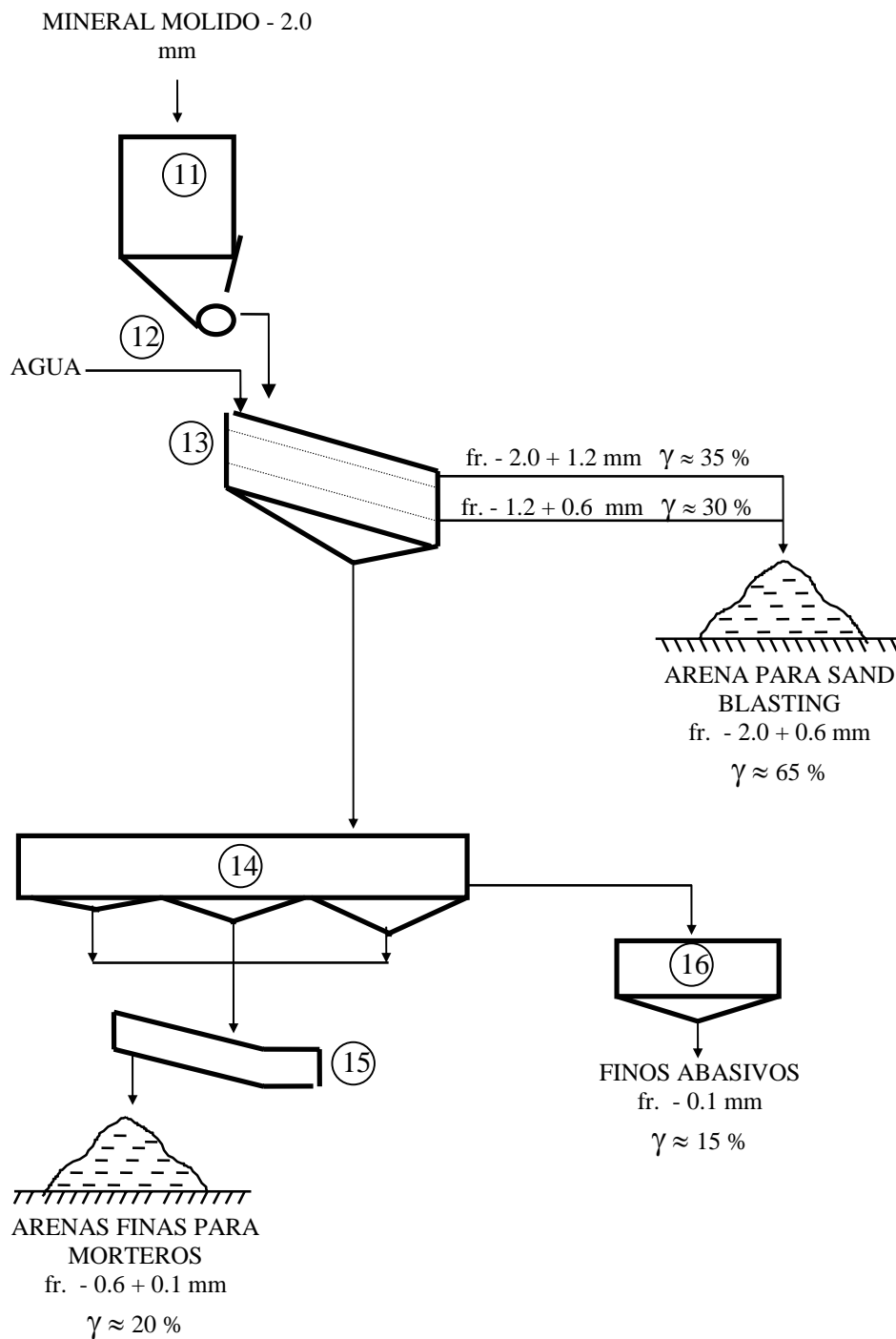


Figura 9. Esquema Tecnológico Preliminar para producir arena para Sand Blasting a partir del Skarn granatífero del yacimiento "Arroyo La Poza". **Variante 2 (vía húmeda).** (continuación).



## CONCLUSIONES.

1.- Como puede apreciarse los resultados del beneficio del granate son negativos, tal como se esperaba de la caracterización de la muestra. No se logra en ningún momento un concentrado de alta ley, con mas de 90 % de contenido y el mejor concentrado individual no alcanza el 30 %.

La muestra recibida posee muy bajo contenido de granate (13.62 %), inferior a lo planteado por el pasaporte y que pueden influir muy negativamente en el aprovechamiento económico de este yacimiento.

2.- El granate presente en este yacimiento es del tipo Grosularia.

3.-Se obtiene por el esquema de trituración y molienda empleado en el estudio, un rendimiento en peso de Fracción Útil para Sand Blasting - 2.0 + 0.6 mm de 65.51% y los contenidos por orden de importancia en este producto son magnetita 29.94 %; cuarzo 22.10 %; granate total de 14.51% y Otros (anfíbol, piroxenos, etc.) 29.76 %.

4.- El beneficio de la fracción - 0.6 mm con el objetivo de obtener concentrados de granate de alta ley (> 90 %) fue negativo, pese a emplearse dos esquemas complejos de beneficio.

## RECOMENDACIONES.

1.- Realizar un Estudio Técnico-Económico que determine la viabilidad de esta inversión y que tenga en cuenta los altos costos de trituración y molienda de estos minerales abrasivos.

2.- En función de los resultados del Estudio anterior ejecutar una prueba en escala ampliada para comprobar los índices obtenidos.

3.- Realizar estudios de mercados para determinar el posible empleo de la fracción - 0.6 + 0.1 mm en morteros de construcción como sustitutos de arenas finas y polvos de piedra y de la fracción - 0.1 mm como abrasivo domestico.

## 7.0.- BIBLIOGRAFIA.

Gerald E. Ray. Garnet Skarn. British Columbia Geological Survey. Sitio Web: <http://www.em.gov.bc.ca/Mining/Geosurv/MetallicMinerals/MineralDepositProfiles/profiles/k08.htm>

Montejo, Emilio; Cabrera, Ileana y otros. Mayo 2000. Estudio de una muestra de Skarn granatífero del yacimiento "La Yuca" para su empleo como abrasivo. CIPIMM.

Montejo, Emilio; Cabrera, Ileana y otros. Julio 2000. Estudio del Beneficio de una muestra de Skarn granatífero del yacimiento "La Yuca". CIPIMM.

Montejo, Emilio. 2000. Situación Actual del Desarrollo del Granate de la Region de Santiago de Cuba. Información enviada a la Empresa Geominera Oriente. CIPIMM

Montejo, Emilio; Seijo, Donato y Otros. 1989. Informe del Estudio del Beneficio de dos muestras Tecnológicas del Yacimiento "La Belleza". CIPIMM IT-93



## ANEXO 1

### ESQUEMAS DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Fig. 1. Esquema de preparación de muestras.

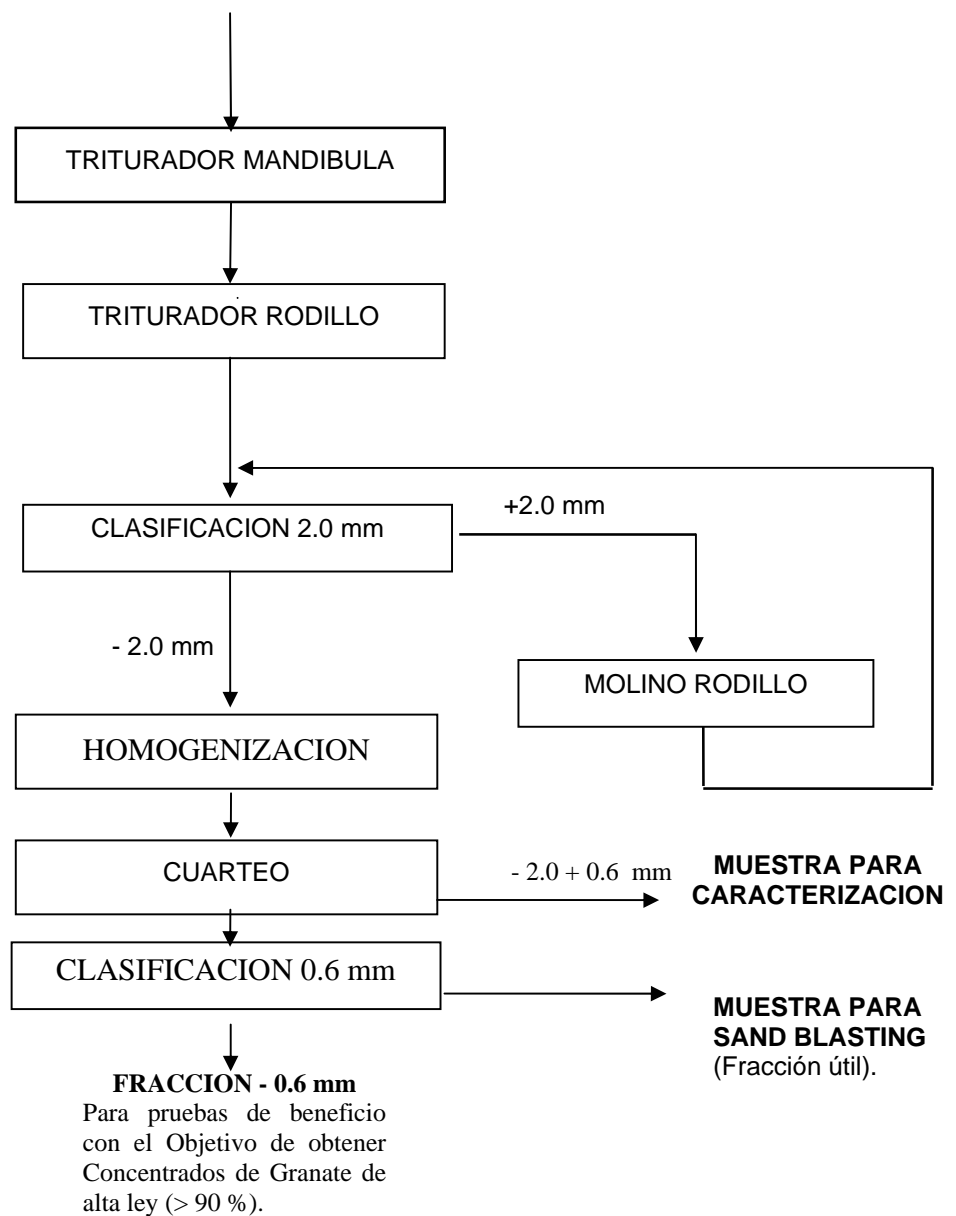
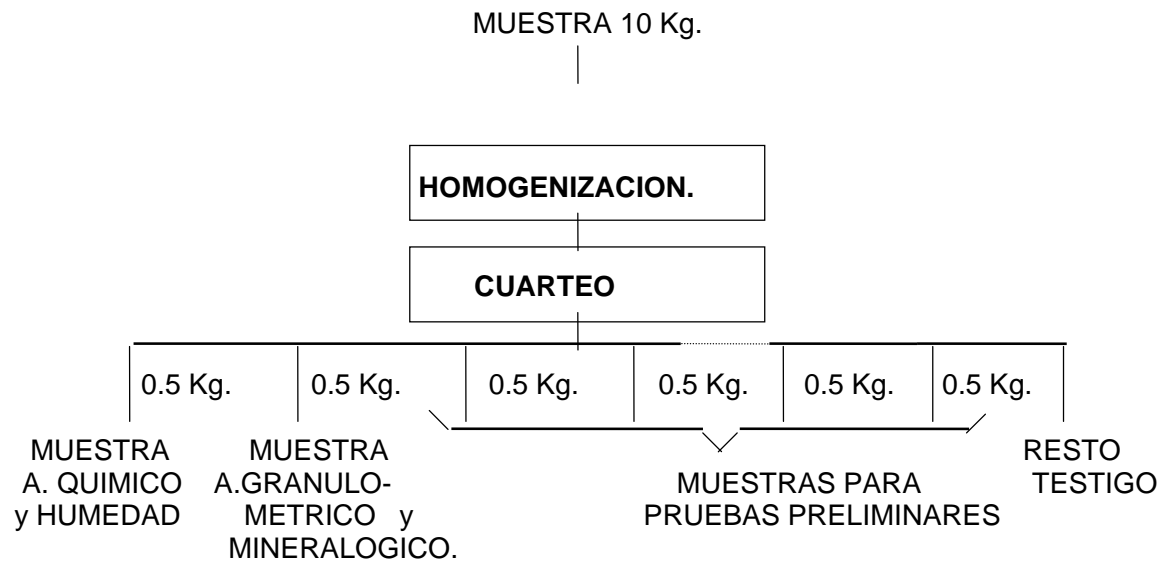


Fig. 2 Esquema de preparación de las muestras molida bajo 2.0 mm.



## ANEXO 2

Tabla II. Caracterización granulométrica y mineralógica por fracciones del Skarn granatífero del yac. "Arroyo La Poza" ( Molido bajo 2 mm)

No	Granulometría (mm)	% Peso	CONTENIDOS (%)								DISTRIBUCIÓN (%)							
			GL	GE	GT	MAG	Q	ANF	POX	OT	GL	GE	GT	MAG	Q	ANF	POX	OT
1	+ 2.0	0.14	4.77	6.76	11.53	32.57	22.51	10.50	4.89	18.00	0.07	0.22	0.12	0.16	0.12	0.14	0.12	0.16
2	- 2.0 + 1.0	45.34	4.77	6.76	11.54	32.57	22.51	10.50	4.89	17.99	23.17	71.72	38.42	52.01	39.14	45.31	37.38	52.72
3	- 1.0 + 0.5	21.43	15.23	5.60	20.83	24.35	21.22	6.31	3.75	23.54	34.95	28.06	32.78	18.38	17.44	12.87	13.55	32.61
4	- 0.5+ 0.25	10.75	17.15	0.00	17.15	22.67	36.49	7.80	8.64	7.25	19.73	0.00	13.53	8.58	15.04	7.98	15.65	5.04
5	- 0.25 + 0.15	5.39	10.51	0.00	10.51	33.14	36.20	7.03	10.01	3.11	6.07	0.00	4.16	6.29	7.49	3.61	9.10	1.09
6	- 0.15 + 0.074	6.88	11.76	0.00	11.76	27.70	30.55	11.93	15.19	2.87	8.66	0.00	5.94	6.71	8.06	7.81	17.63	1.28
7	- 0.074 + 0.045	3.94	15.95	0.00	15.95	22.48	29.39	22.30	9.88	0.01	6.73	0.00	4.62	3.12	4.45	8.37	6.57	0.00
8	- 0.045	6.12	0.95	0.00	0.95	22.00	35.20	23.90	0.00	17.95	0.62	0.00	0.43	4.74	8.26	13.91	0.00	7.10
TOTAL			100.0	9.34	4.28	13.62	28.40	26.08	10.51	5.93	15.47	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

ABREV.	ESPECIE
GL	Granate libre
GE	Gran. entrecrecido
GT	Granate total
MAG	Magnetita
Q	Cuarzo
ANF	Anfíbol
POX	Piroxeno
OT	Otros *

\* Fundamentalmente Epidota, Feldespato y Roca.

Tabla III. Resultados de la clasificación granulométrica para el beneficio y contenidos mineralógicos por fracciones del Skarn granatífero del yac. “ Arroyo La Poza” ( Molido bajo 2 mm).

No	Granulometría (mm)	% Peso	CONTENIDOS (%)								DISTRIBUCIÓN (%)							
			GL	GE	GT	MAG	Q	ANF	POX	OT	GL	GE	GT	MAG	Q	ANF	POX	OT
1	- 2.0 + 0.6	65.51	8.12	6.39	14.51	29.94	22.10	9.16	4.52	19.77	57.19	96.93	69.79	64.24	55.50	57.12	57.37	91.89
2	- 0.6 + 0.4	4.73	10.05	2.80	12.85	38.33	29.93	8.04	5.52	5.33	5.11	3.07	4.47	5.94	5.43	3.62	5.06	1.79
3	- 0.4+ 0.2	7.25	13.46	0.00	13.46	33.30	33.88	8.39	4.53	6.44	10.49	0.00	7.17	7.91	9.42	5.79	6.37	3.31
4	- 0.2 + 0.1	8.63	13.32	0.00	13.32	33.44	31.22	13.15	6.46	2.41	12.35	0.00	8.44	9.45	10.33	10.80	10.80	1.48
5	- 0.1	13.87	9.96	0.00	9.96	27.42	36.32	17.16	7.59	1.55	14.85	0.00	10.14	12.46	19.32	22.66	20.40	1.53
TOTAL		100.00	9.30	4.32	13.62	30.53	26.08	10.51	5.16	14.09	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ABREV.	ESPECIE
GL	Granate libre
GE	Gran. entrecrecido
GT	Granate total
MAG	Magnetita
Q	Cuarzo
ANF	Anfibol
POX	Piroxeno
OT	Otros *

- Fundamentalmente Epidota, Feldespato y Roca.

### ANEXO 3

#### ESQUEMAS DE BENEFICIO DE SEPARACIÓN MAGNÉTICA MULTITETAPA

Fig. 5 Esquema de beneficio de separación magnética multitapa vía seca, de la fracción - 0.2 + 0.1 mm.

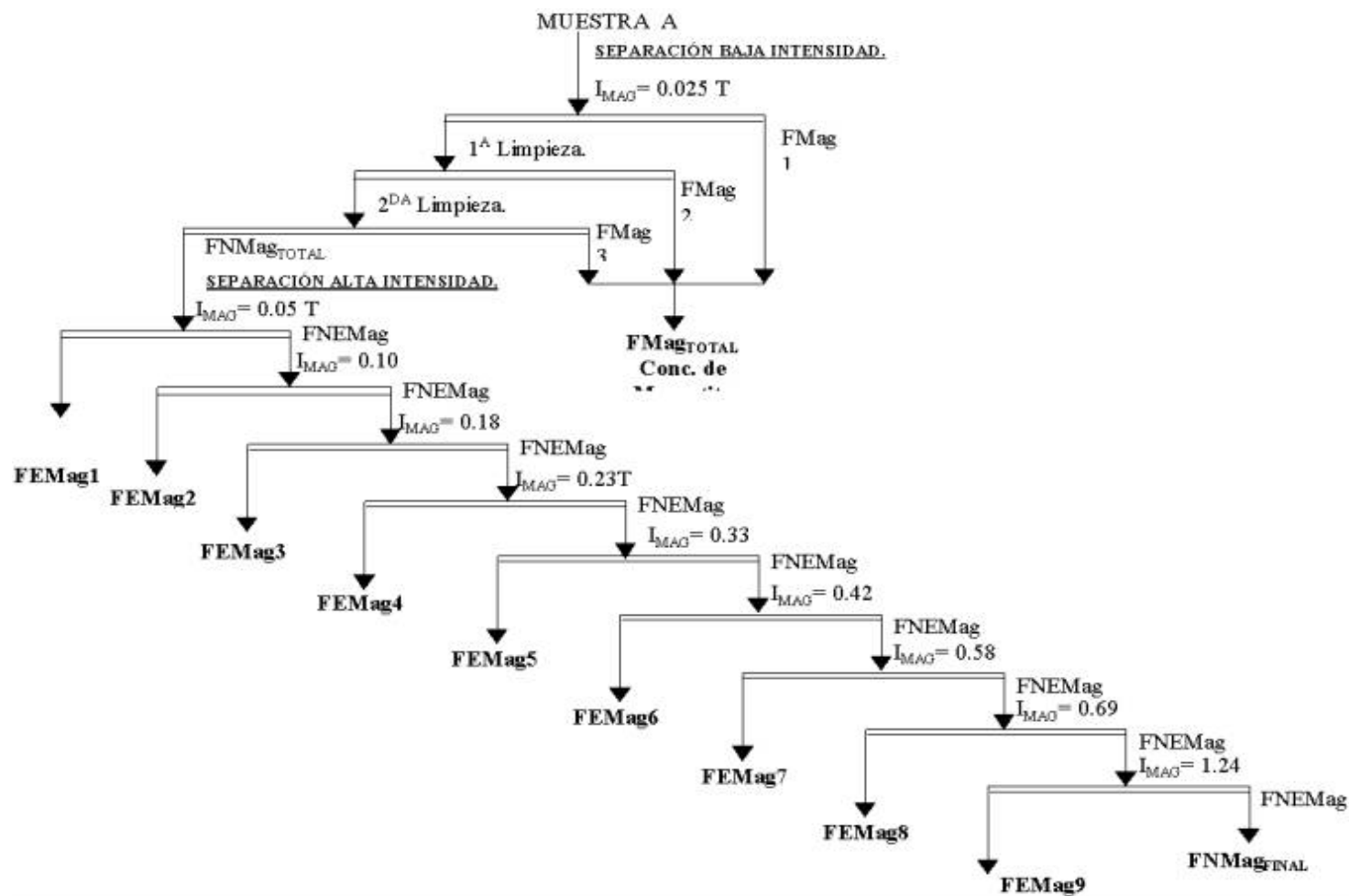
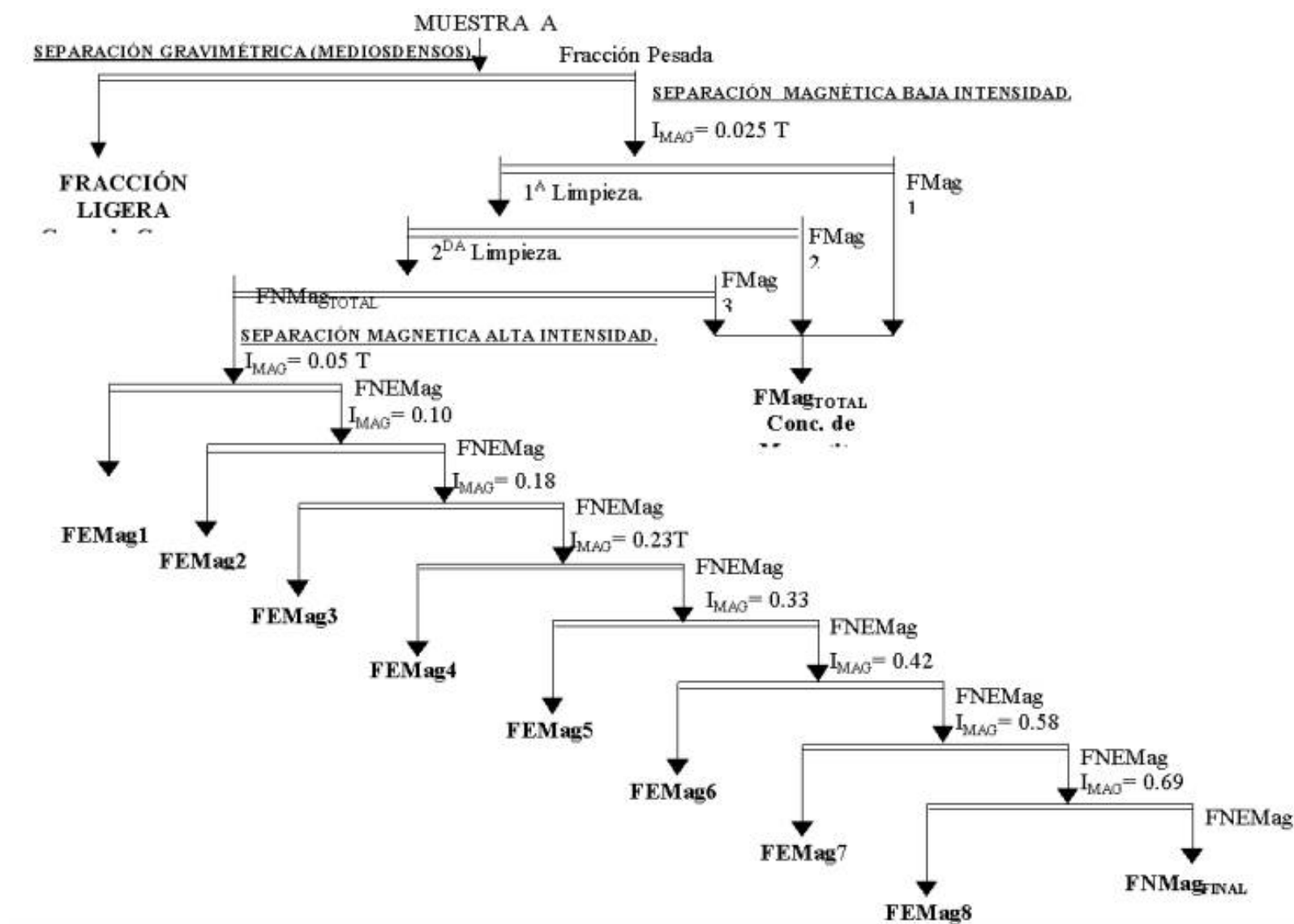


Fig. 7 Esquema de beneficio combinado medios densos - separación magnética multietapa vía seca, de la fracción - 0.2 + 0.1 mm.





## EL CARBONATO DE CALCIO EN CUBA, POTENCIALIDAD Y CONSUMO.

**Rolando Batista González, Esther M. González Rodríguez, Miguel A. García Saborit, Virginia González Acosta.**

*Instituto de Geología y Paleontología. Via Blanca y Línea del Ferrocarril. San Miguel del Padrón. CP 11000. Ciudad de La Habana, 55-7232 / 98-8404. [rolando@igp.minbas.cu](mailto:rolando@igp.minbas.cu)*

### RESUMÉN

Las rocas carbonatadas presentan una amplia distribución en todo el territorio cubano, lo cual favorece el amplio consumo del carbonato de calcio por las industrias cubanas, siendo este mineral uno de los mas empleados por este sector.

Debido a la importancia de este producto mineral para el sector industrial, en el presente trabajo se da a conocer la potencialidad del carbonato de calcio en Cuba, señalando los principales depósitos aptos para ser aprovechados como fuente de esta materia prima.

Se describe además, las características fundamentales de su principal depósito, el yacimiento Colina, conjuntamente con los tipos tecnológicos de carbonato obtenidos en la planta de procesamiento "Coco Peredo".

Estos tipos de carbonato cumplen con los requisitos de calidad exigidos para la fabricación de diversos productos. Conocer cuales son esos productos y las industrias correspondientes, constituye otro de los objetivos de este artículo.

Finalmente se señalan las dificultades afrontadas por diversas industrias, debido a que en estos casos, el carbonato de calcio suministrado no cumple con las exigencias requeridas.

Auxiliándonos de gráficos, tablas y comentarios se muestra la información de interés y se conoce que aún con suficiente volumen de recursos para satisfacer las demandas de las industrias, no siempre se puede cumplir, debido fundamentalmente, a la falta de un equipamiento tecnológico adecuado en las plantas procesadoras de este valioso mineral.

### ABSTRACT

The carbonated rocks has a wide distribution in the whole Cuban territory that which favors the wide consumption of the calcium carbonate for the Cuban industries being this mineral one the most useful by this sector.

In this report is given to know the potentiality of the calcium carbonate deposits in Cuba due to the high importance of this mineral product for the industrial, pointing out the main deposits to be taken in consideration of as source of this raw material.

It is also described, the main characteristics of their main deposit, La Colina, beside of with the technological types of carbonate products obtained in the Coco Peredo processing industry.

These carbonate types fulfill the requirements of quality demanded for the production of diverse products. To know which are those products and the corresponding industries constitutes another of the objectives of this report.

Finally are pointed out the difficulties confronted by many industries, because in these cases, the calcium carbonate does not fulfill the required demands.

The information is shown with the support of graphics, tables and comments and it is known that still with enough volume of resources to satisfy the demands of the industries, it can not always possible due to mainly the existence of no good required technological equipment in the processing industry.

## INTRODUCCIÓN

Las rocas carbonatadas participan en la mayoría de las estructuras geológicas cubanas, siendo portadora, de mas de 150 depósitos de calizas, muchos de ellos con elevada pureza, particularidad que los hace aptos para ser aprovechados como fuentes de carbonato de calcio.

La relación de estos depósitos, su ubicación geográfica, contenido de  $\text{CaCO}_3$  y volumen de recursos se muestran en la siguiente tabla;

**Tabla No 1. Depósitos de carbonato de calcio de alta pureza.**

Depósito	Provincia	$\text{CaCO}_3$ (%)	Recursos x $10^3$ t
Julio A. Mella	Santiago de Cuba	97	50 000,0
Cantera Blanca	La Habana	54	25 000,0
Beluca	La Habana	99	25 000,0
Senado	Camagüey	55,26	15 000,0
Tanque de Viñas	Villa Clara	97,5	2 000,0
Manatíal	Guantánamo	96,7	7 000,0
San Germán	Holguín	98,9	0,5
Levisa	Holguín	55	35 000,0
El Cacao	Granma	98,28	280 000,0
Guayos	Sancti Spíritus	97	12 000,0
La Colina	La Habana	97	5 000,0
total			<b>456 000,5</b>

El carbonato procedente de estos depósitos es procesado en las siguientes plantas;

**Tabla No2: Relación de las plantas procesadoras de carbonato de calcio en Cuba**

	Ubicación geográfica	Estado técnico	% de trabajo según su capacidad	Estado tecnológico
Planta de trituración, secado, y clasificación de $\text{CaCO}_3$ "Coco Peredo"	Tapaste, San José de las Lajas (La Habana)	Malo, por descapitalización	30%-sección de trituración. 100%-sección de molienda. Causas: Mercado del $\text{CaCO}_3$ # 8 y #9 y solo trabaja un horno de los 3 que tiene.	Obsoleta
Planta de trituración, secado y clasificación de $\text{CaCO}_3$ . "La yaya"	Las Tunas	Paralizada y desmantela - miento tecnológico. -Elevador de canjilones. -Molino de martillo. -Zaranda de clasificación.	Paralizada por mercado (Cierre de la fábrica de vidrio de Las Tunas)	-

Dentro de todos estos depósitos, la principal fuente de carbonato de calcio en Cuba proviene del la Planta "Coco Peredo" donde se procesa principalmente las calizas del Yacimiento La Colina.

Por su gran incidencia en la producción del carbonato de calcio, es preciso conocer las principales características de este depósito.

Se localiza a unos 30 km al este de La Habana, compuesto por calizas puras blancas y blandas tipo cretas, de granulometría media a gruesa, asociadas a la formación litoestratigráfica Colón de edad P3 sup-N1 inf.

Presenta un relieve formado por elevaciones en forma de mogotes, afectado por procesos cársticos fundamentalmente lapies en toda la superficie del macizo rocoso.

El Yacimiento tiene recursos evaluados de mas de 5 millones de toneladas, se encuentra en explotación bajo la concesión de la Unión Geominera del MINBAS. Con buena perspectiva de aumentar sus recursos hacia los flancos y en la vertical.

Sus propiedades químicas y físicas promedio se muestran en las tablas 2 y 3 .

**Tabla No 2. Composición química**

Composición Química (%)	Mínimo	Máximo	Promedio
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	0.7	0.4
CaCO <sub>3</sub>	92,89	99,81	96
CaO	51,85	55,96	53,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,004	0,72	0,2
MgO	0,11	0,23	0,15
PH	9,45	9,64	9,5
PPI	41,73	43,7	42,3
SiO <sub>2</sub>	0,2	3,49	0,2
SO <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,01

**Tabla No 3: Propiedades físicas**

Propiedades físicas	Tipo Litologo-tecnológico	Promedio
Abrasividad %	Tipo I	100
Absorción %	General	13
Amarillez %	Tipo I	5
Amarillez %	Tipo II	5
Blancura %	Tipo I	85
Blancura %	Tipo II	80
Brillantez %	Tipo I	90
Brillantez %	Tipo II	90
Peso volumétrico g /cm <sup>3</sup>	General	1,8
Porosidad %	General	39

En la planta “Coco Peredo” se obtienen diferentes tipos tecnológicos en dependencia de la granulometría y composición química, cuyas especificaciones de calidad se muestran en las tablas No 4 y 5.

**Tabla No 4. Tipos tecnológicos según la granulometría.**

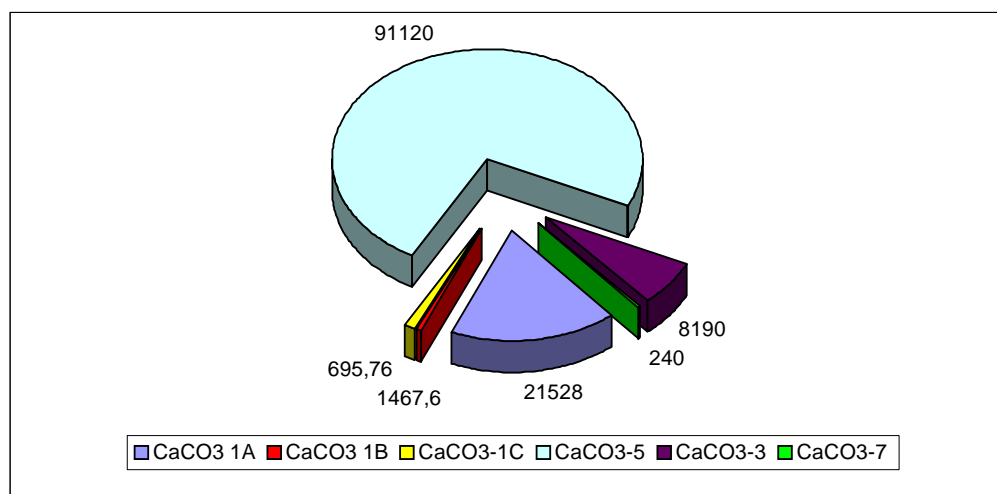
Producto	Precio	Granulometria en mm (por ciento retenido)									
		0,044 max	1,6 max	-1,6- 0,1 min	-0,1 max	3,36 max	-3.36 min	-5 min	110 max	-110+50 min	-50
1-A	27,09	1,0	--	-	-	-	-				
1-C	21,38	2,0	-	-	-	-	-				-
3	18,00	-	2,0	88	10,0	-	-				
4	10,52	-	--	-	-	10	90				--
1-B	24,28	1,0	--	-	-	-	-				--
5	3,05		-	-	-	-	-	95	-	-	
8	3,35	-	-	-	-	-	-	-	3	90	5
Carcal	33,12	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabla No 5. Tipos tecnológicos según la composición química.**

Producto	precio	CaCO <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	S	SO <sub>3</sub>	Hum	UM
		Min	Min	Max	Max	Max	Max			max	%
1-A	27,09	97	34	0,25	0,5	0,5	1,5	-	-	-	%
1-C	21,38	97	34	0,25	0,5	0,5	0,5	-	-	-	%
3	18,00	97	34	0,5	0,26	0,2	0,5	-	-	-	%
4	10,52	97	34	0,5	0,26	0,2	0,5	-	-	0,4	%
1-B	24,28	97	34	0,25	0,5	0,5	1,5	-	-	5	%
5	3,05	97	34	0,25	0,5	-	0,3	0,0 3	0,03	12	%
8	3,35	97	34	0,25	0,5	-	0,3	0,0 3	0,03	-	%
Carcal	33,12	98	-	0,4	0,2	0,5	0,5	-	0,05	-	%

Estos tipos tecnológicos son los empleados por las industria (ver tabla No 6) y el volumen anual por tipo tecnológico consumido por las diferentes entidades se muestra en la figura No 1.

**Figura No 1. Volumen anual (t), consumido por tipo tecnológico.**



**Tabla No 6. Industrias que consumen carbonato de calcio producido por la planta “Coco Peredo”.**

Entidades Consumidoras	Tipo Tecnológico	Producto	Volumen (t/año)
SUCHEL-REGALO	CaCO3 1A	Jabón, pasta dental	24
SUCHEL-LIS	CaCO3 1A	Jabón, pasta dental	4000
SUCHEL-TROPICAL	CaCO3 1A	Jabón, pasta dental	2207
SUCHEL-JAYPER	CaCO3 1A	Jabón, pasta dental	5169
UNION PLASTICO Y CERAM.	CaCO3 1A	Relleno	48
PIENSOS TROPICALES	CaCO3-5	Pienso	6120
CAN	CaCO3-5	Pienso avícola	65000
MINED	CaCO3 1A	Plastilina	80
ZELL-SANID	CaCO3-3	Abate (insecticida)	1200
ZELL-SANID	CaCO3-7	Abate (insecticida)	240
Cerámica Blanca - San José	CaCO3-1B	Piezas sanitarias	87,6
Losas de cerámica. San José	CaCO3-1C	Losas de piso	1423,5
Taller. Raúl Suárez	CaCO3-1C	Cerámica vajillera	2,2
RODAFF	CaCO3-1C	Fundición	41,8
Agrupación Pecuaria MINAZ	CaCO3-5	Pienso	20000
Vidrio La Lisa	CaCO3-3	Vidrio	4800
Fundición EMPET	CaCO <sub>3</sub> -1C	Metalurgia	0,1
Fábrica Ciro Redondo	CaCO <sub>3</sub> 1B	Goma	8,16
Fábrica Conrado Piña	CaCO <sub>3</sub> 1B	Goma	600
SUCHEL- Camacho	CaCO <sub>3</sub> 1A	Jabón, pasta dental	10000
Vidrio San José	CaCO <sub>3</sub> -3	Vidrio	2190

Del análisis de estas tablas gráficos y comentarios se deriva una información donde se da a conocer, la potencialidad del carbonato de calcio en Cuba y las particularidades que presentan las diferentes industrias en su consumo, así como las dificultades confrontadas por las mismas.

## **MATERIALES Y METODOS**

Como materiales fundamentales se utilizaron, las encuestas realizadas a diferentes industrias de las provincias, Ciudad de la Habana, La Habana, Matanzas y Pinar del Río y la base de datos de yacimientos, ambos realizados en el departamento de Yacimiento de Minerales del Instituto de Geología y Paleontología.

De las encuestas se determinaron todas las entidades que consumían carbonato de calcio ya sea importado o nacional, así como las dificultades confrontadas debido al incumplimiento en los parámetros de calidad exigidos por los clientes.

Y de la base de datos todos los depósitos de calizas existentes en el país conjuntamente con sus características.

## **RESULTADOS**

Como se observa en la tabla No 1, Cuba tiene una situación muy favorable con respecto a los recursos de carbonato de calcio, tanto por su volumen como por su calidad, además en todos los casos poseen un elevado grado de estudio, lo cual favorece a un aprovechamiento inmediato de los mismos.

Sin embargo, al analizar la tabla No 2 se deduce que el aprovechamiento de esta materia prima se va seriamente afectado por las condiciones tecnológicas de las plantas procesadoras, las cuales poseen una tecnología obsoleta, trayendo como consecuencia que el producto no cumpla en muchas ocasiones con las exigencias de calidad.

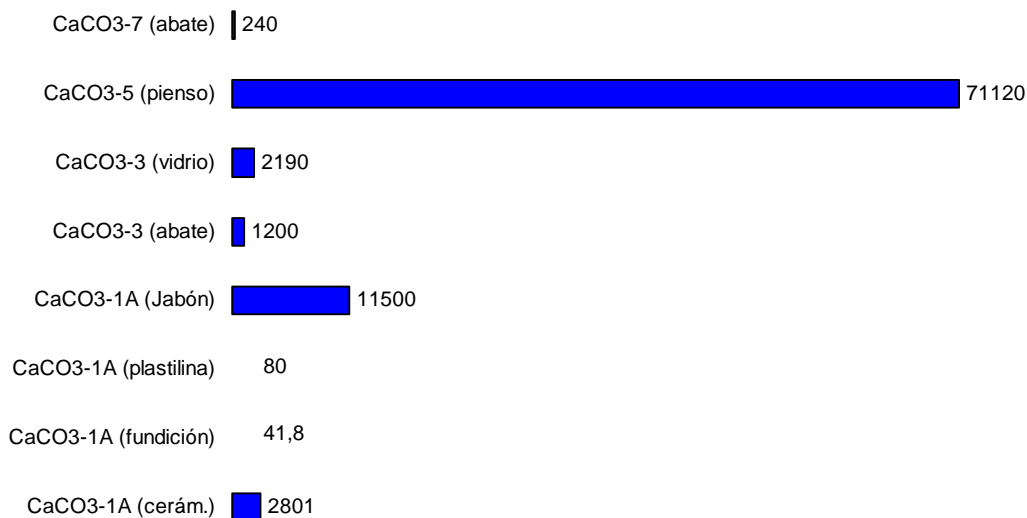
Estas limitaciones han provocado la importación de esta materia prima por algunas industrias.

En la tabla No 6, donde aparece un gran número de empresas consumidoras del carbonato de calcio, se demuestra que en estos momentos la planta Coco Peredo del yacimiento La Colina, está asumiendo la mayor producción de este producto en el país, aún con las considerables afectaciones que presenta en su equipamiento.

Como resultado de la figura No1 y la tabla No 6, se obtiene el consumo de los diferentes tipos de carbonato por uso, lo cual se puede ver en la figura No 2.



**Figura No 2. Volumen (t) consumido anualmente, por usos.**



## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Con el volumen de recursos de carbonato de calcio que posee el país se puede satisfacer la demanda de las industria nacionales y constituir un renglón más de entrada de divisa por concepto de exportación.

Sin embargo el suministro de esta materia prima se va afectado por la ausencia de una tecnología adecuada o por deterioro del equipamiento de las plantas actuales. Jugando un rol fundamental la planta de Coco Peredo, al asumir prácticamente toda la demanda del país.

De los datos que aparecen en las figuras 1 y 2, se puede ver que, actualmente la industria productora de pienso, es la mayor consumidora del carbonato de calcio, coincidiendo con el tipo tecnológico 5, siguiendo la empresa productora de jabón quienes utilizan el carbonato tipo 1A el cual sí necesita de mayor molienda y clasificación.

En las condiciones actuales de la planta tanto el consumo por parte de esta industria como otras que necesitan de una mejor calidad, se ven afectadas, por lo que se han visto en la necesidad, en ocasiones, de importar la materia prima.

Nos referimos a industrias tales como;

- QUIMEFA para la fabricación de medicamentos consume grandes volúmenes de  $\text{CaCO}_3$  de importación.
- Suchel- Camacho importa de México mas de 2000 t anuales.
- La industria del papel blanco en la actualidad no existe, los volúmenes de consumo interno no avalan una inversión a corto plazo. Es un consumidor potencial de esta materia prima, aunque se efectuaron pruebas con el carbonato de calcio nacional, dando resultados no

satisfactorios por la abrasividad y la granulometría (falta de micronizador).

- La industria del vidrio está muy deprimida, pero se espera una recuperación. Actualmente tienen dificultades con la calidad del carbonato de calcio que consume, ya que no cumple con los parámetros de granulometría. Mas del 20 % de finos.
- Pinturas Vitral: Presentan problemas con el suministro del  $\text{CaCO}_3$  por parte del suministrador (Planta Coco Peredo) debido a que no cumple con la blancura y granulometría requerida.

Con respecto a nuevas investigaciones con esta materia prima, en el Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) se realizaron pruebas en la producción de plaguicidas sólidos, demostrando que puede sustituir el talco y el caolín, productos altamente deficitarios, siendo importado todo el talco que se consume en el país.

Con las posibilidades de un incremento en el consumo de carbonato de calcio y el compromiso de poder satisfacer la demanda de las industrias que actualmente lo necesitan, es conveniente considerar una inversión en la modernización de las plantas procesadoras, pues no solo se recuperaría a corto plazo, sino que beneficiaría la producción en muchas industrias, cuyos productos influyen directamente en el desarrollo social y económico del país.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- Delgado Jorge. B; Lippstreu. L. et al 1985. Informe Sistematización y Generalización de las materias primas no metálicas de las provincias. Habana - Matanzas.Tema 0109. IGP.
- Torres Cedeño.T. et al. 1995. Informe Parcial E. Geológica del Yacimiento de carbonato La Colina. Desde la cota 225 a la superficie.
- Molina R. 1997. et al. Informe Exploración de Explotación del Yacimiento de carbonato de calcio La Colina.
- Balance de reservas 1999. ONRM

## EVALUACION DE PRODUCTOS MINERALES EN EL MERCADO NACIONAL DURANTE EL AÑO 2004

**Virginia González Acosta, Miguel A. García Saborit, Esther Ma. González Rodríguez, Rolando Batista González, Jesús Martínez Salcedo.**

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Línea del ferrocarril -1002. San Miguel del Padrón. CP 11000. Ciudad Habana, 55-7232 / 98-8404, [virginia@igp.minbas.cu](mailto:virginia@igp.minbas.cu),*

### RESUMEN

El objetivo consiste en hacer una evaluación sobre el mercado actual de las materias primas minerales, tanto las de consumo nacional como las importadas, basándose fundamentalmente en el volumen de consumo según su uso, principales usos a que son destinados, análisis de los precios en el mercado así como propuestas de introducción de nuevas materias primas minerales, ya sea de forma inmediata o en un futuro cercano.

Para lograr una visión del mercado nacional durante el año 2004 se visitaron diversas entidades de diferentes Ministerios con el propósito de recopilar información, a partir de un cuestionario o planilla creado previamente, sobre: tipo de materia prima mineral; volumen (t) importado o nacional; costo; especificaciones de calidad; procedencia, etc. Esto permitió obtener conclusiones sobre la demanda en el mercado, equivalencia nacional del producto mineral importado, sugerencias de posibles inversiones, etc.

Como resultado se obtuvo que dentro de 65 productos minerales identificados, los de mayor volumen consumido (> 30 000 t/año) tanto nacionales como importados son:  $\text{CaCO}_3$  # 5; Cal; Roca Fosfatizada;  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{KCl}$ ,  $\text{KSO}_4$ , Fosfato Dicalcico, Dicalite, Carbón activado, respectivamente, resultando los principales usos a que son destinados: piensos, neutralizador de guarapo, fertilizantes, abonos, rellenos, filtrantes, abrasivos. Productos de alto consumo como Dicalite, Carbón activado coinciden con ser los de un mayor precio en el mercado actual. Estos productos importados pueden ser sustituidos por nacionales siempre y cuando cumplan con los parámetros de calidad que requiera el cliente trayendo consigo la sustitución de importaciones, abaratamiento de los costos e introducción en el mercado de nuevos rubros nacionales. Materias primas potásicas con diferentes formulaciones y uso ocupan un lugar cimerio en el mercado actual, materias primas que son importadas a un alto costo, siendo ventajoso para la economía nacional su investigación e introducción a partir de áreas existentes que presentan un bajo grado de estudio geológico.

### ABSTRACT

The objective consists on making an evaluation on the current market of the mineral raw matters, such as those of national consumption or imported, being based fundamentally on the consumption volume according to its use, main uses to that are dedicated, analysis of the prices in the market as well as proposals of introduction of new mineral raw matters, either in an immediate way or in a near future.

To get a vision of the national market during the year 2004 were visited several entities of different Ministries with the purpose to obtain information on: mineral raw matters type; volume (t) imported or national; cost; specifications of quality; origin, etc. These allowed to obtain conclusions on the demand in the market, national equivalence of the imported mineral product, suggestions of possible investments, etc.

As a result it was obtained that inside 65 identified mineral products, those of more consumed volume (> 30 000 t/ year) so much national as having cared they are:  $\text{CaCO}_3$  #5; Cal; phosphate rock;  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{KCl}$ ,  $\text{KSO}_4$ , dicalcic phosphate, Dicalite, activated Coal, respectively, being the main uses in: animal food, liquor sugar cane neutralizer, fertilizers, payments, fillers, filters, abrasive. Products of high consumption as Dicalite, activated Coal coincides with being those of a bigger price in the current market. These imported products can be substituted for national and when they fulfill the requirements of quality that the client requires bringing the substitution of imports, depreciation of the costs and introduction in the market of new national items. Matters prevail potassium with different formulations and use they occupy a first place in the current market, mineral raw matters are imported at a high cost, being advantageous for the national economy their investigation and introduction starting from existent areas that present a low degree of geologic study

## INTRODUCCION

Durante el período especial no pocas industrias cerraron sus puertas, causándose, en no pocos casos, su sensible deterioro cuando no el cierre definitivo. Para las industrias dependientes de materias minerales nacionales, esta afectación resultó también en la reducción o paralización de la explotación de los yacimientos relacionados, lo cual repercutió muy directa y negativamente en la actividad de la Unión Geominera y otros como resultado de la baja demanda de las industrias. Ambos aspectos conllevó a una fuerte recesión productiva, quedando reflejado en diversos ministerios y organismos.

Con el paso del tiempo y una mejoría en la economía nacional, estas producciones se fueron incrementando paulatinamente pero sin conocer claramente la demanda de estas materias primas en dichas producciones. Con la reactivación de la economía, muchas industrias importan productos y materias primas que se han impuesto por el desarrollo vertiginoso de estas producciones a nivel mundial y también como detrimento de las producciones y extracciones nacionales, por otro lado otras continúan con la inercia del consumo de materias nacionales.

Hoy en día aún persiste un déficit tecnológico que influye en la calidad y el suministro del producto mineral según la necesidad del cliente.

El trabajo da a conocer la demanda en el mercado actual de estas materias primas minerales ya sean importadas o de consumo nacional equivalencia nacional del producto mineral importado, sugerencias de posibles inversiones, lo cual se muestra mediante tablas, gráficos y comentarios.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo fue efectuado partiendo primeramente de la confección de una planilla o cuestionario para la Industria o Empresa, Laboratorio y Planta de Beneficio y que recoge datos de entidad, volumen (tn) nacional o importado, precio, procedencia, uso, función que juega la materia prima en el producto, especificaciones técnicas, producto, etc. Esta planilla nos sirvió para el levantamiento y recopilación de la información en cada una de las entidades visitadas. Se creó una base de datos a partir del formato y la información recogida en el cuestionario.

Posteriormente y tomando como referencia las entrevistas realizadas a especialistas de entidades pertenecientes a los diferentes ministerios y de la información recopilada, se escogieron los datos sobre: tipo de materia prima mineral que consumen las producciones de cada organismo; parámetros de volumen; costo; especificaciones de calidad; procedencia ya sea nacional o de importación, fueron considerados los de mayor importancia para la evaluación de la demanda, almacenándolas en la base de datos digital para su posterior análisis y procesamiento, de modo que permitiera obtener conclusiones sobre posibles mercados, líneas de investigación, sugerencias de posibles inversiones, etc.

A continuación se muestran los ministerios visitados:

- MINBAS
- MINAZ
- MINIL
- MINAGRI
- MINAL
- MICONS
- MINSAP
- SIME
- INRH
- MINCEX

- MIP
- MEP
- I\_C
- CITMA
- MINED
- MES

## RESULTADOS

Con el procesamiento de la base de datos se conocieron aquellos productos minerales más empleados durante el año 2004, o sea, los de mayor volumen. Se identificaron un total aproximado de 65 materias primas minerales (incluyendo productos químicos para pigmentos), de estas 38 corresponden a nacionales, 27 de importación y 7 relacionadas para ambos en dependencia del uso. Con estos resultados se procedió a la confección de tablas, catálogos, confección de gráficos de correlación de diversas temáticas (materias primas, usos, precio, volumen ). Estos permitió conocer la situación de la demanda de los mismos en el mercado así como hacer una valoración acerca del precio que se eroga en la inversión, fundamentalmente para aquellos productos importados y realizar un estudio de una posible sustitución por algún equivalente nacional.

En las Figuras 1 y 2 se muestran el volumen de consumo (t/año) nacional e importadas, respectivamente.

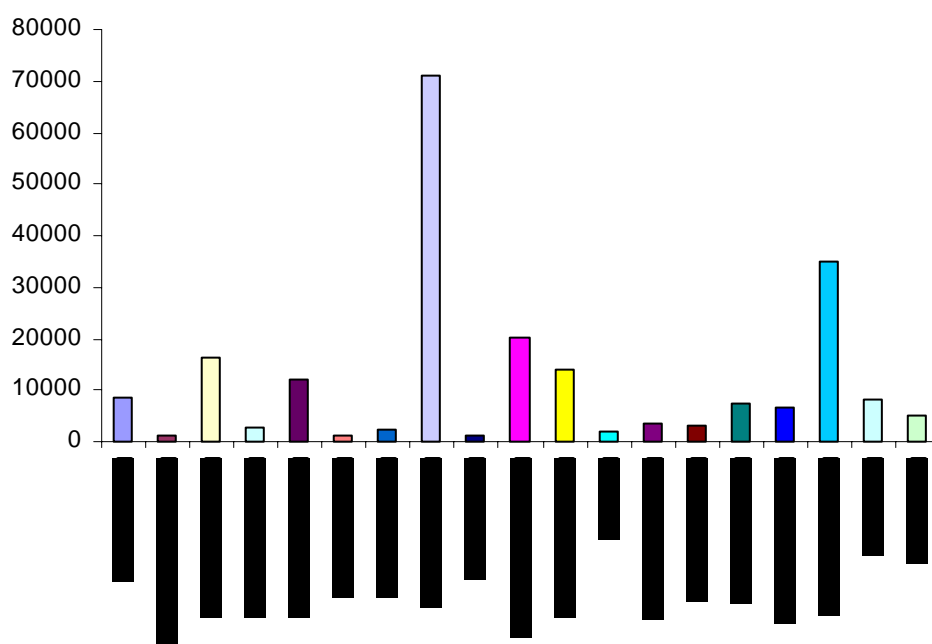


Figura 1. Volumen de consumo nacional según uso (TN).

De la Figura 1 se deduce que las principales materias primas minerales destinadas al consumo nacional son:  $\text{CaCO}_3$  #5 (71120 TN/año), Cal con aproximadamente 35000 TN/año en todos sus usos, Roca fosfatizada (35000 TN/año) y así sucesivamente en orden descendente. Estos primeros lugares en el volumen lo ocupan aquellas materias primas destinadas para el pienso animal dónde su función es el aporte de calcio y son consumidas por entidades como el Complejo Avícola Nacional (CAN) y Pienso Habana.

El más alto consumo de cal (20357 TN/año) corresponde a su uso como neutralizador de guarapo, otros usos requieren menor consumo de esta misma materia prima, aunque de forma general este producto tiene un alto consumo por diferentes organismos. Para el caso de la roca fosfatizada como fuente de fósforo para fertilizantes por parte de la Dirección de Suelo y fertilizantes, también resulta de gran interés así como otras materias primas destinadas a agro menas. No menos importante es la Arena sílice para el vidrio y el  $\text{CaCO}_3$  1A, utilizado como relleno por diferentes entidades como varias de las Sociedades de SUCHEL.

De forma general, de las materias primas nacionales, la principal dificultad radica en la calidad de las mismas.

La Figura 2 muestra los principales volúmenes de consumo de las materias primas importadas según su uso, estos son el KCL (100 000 TN/año) destinado como fuente de potasio para abono por parte de la Empresa Comercializadora de Servicios Agroquímicos (ECSAQ) del MINAZ, el  $\text{K}_2\text{SO}_4$  con 80 000 TN/año consumido por la Dirección de Suelo y Fertilizantes como fuente de potasio para fertilizantes y el  $\text{PO}_4$  di cálcico con 34 000 TN/año por Pienso Habana y el Complejo Avícola Nacional (CAN) como aporte de fósforo para el pienso animal y para abono y así sucesivamente en orden descendente.

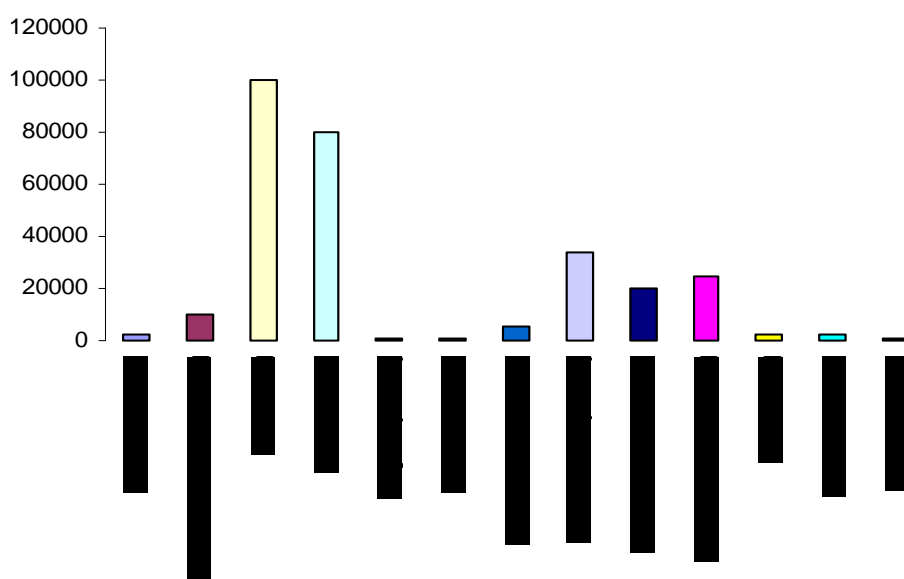


Figura 2. Volumen de consumo importado según uso (TN).

Haciendo una evaluación sobre el precio de las materias primas minerales identificadas en el mercado actual, se detectó que existe una gran diferencia en los mismos, un ejemplo de esto lo vemos en que algunas entidades compran la misma materia prima, al mismo suministrador y destinadas para el mismo uso a un precio diferente (Pinturas Vitral, Vidrio San José, SUCHEL Regalo, SUCHEL Lis, SUCHEL Camacho), esta diferencia puede estar dada quizás por previo acuerdo con el cliente. El precio viene dado por el volumen de consumo. Conocer estos datos resulta importante pues influye en las perspectivas del mercado.

Las Figuras 3a y 3b, muestran los precios (USD) por TN de cada una de las materias primas de consumo nacional e importadas, respectivamente, según el uso. En la 4a se puede ver que aquellas materias primas con valor superior a 100 USD/TN son: Cal (neutralizador de guarapo) 180, otros usos de la cal, Sal (fijador del sabor) 130,  $\text{CaCO}_3$ -1a (cerámica) 128,  $\text{CaCO}_3$ -1a (relleno) 109, Bentonita (clarificador) 118. El precio del  $\text{MgCO}_3$  a pesar de ser el



más elevado (2300), esta materia prima mineral solamente es usado por un solo cliente (SUCHEL Regalo) y para un uso específico como talco corporal.

En el caso de la 4b, los precios más elevados (superior 1000 USD/TN) corresponden por orden a:  $\text{TiO}_2$  (antiséptico) 3750, Carbón activado (filtrante) 2850,  $\text{ZnO}$  (antiséptico) 1850,  $\text{FeO}$  (pigmento) 1704, Electro corindón o Óxido de aluminio (abrasivo) 1500, Carburo de Silicio (abrasivo) 1336. De esto se deduce que estos mayores precios corresponden a materias primas destinadas a su uso como antisépticos (medicina o cosméticos-talcos), filtrantes, abrasivos y pigmentos.

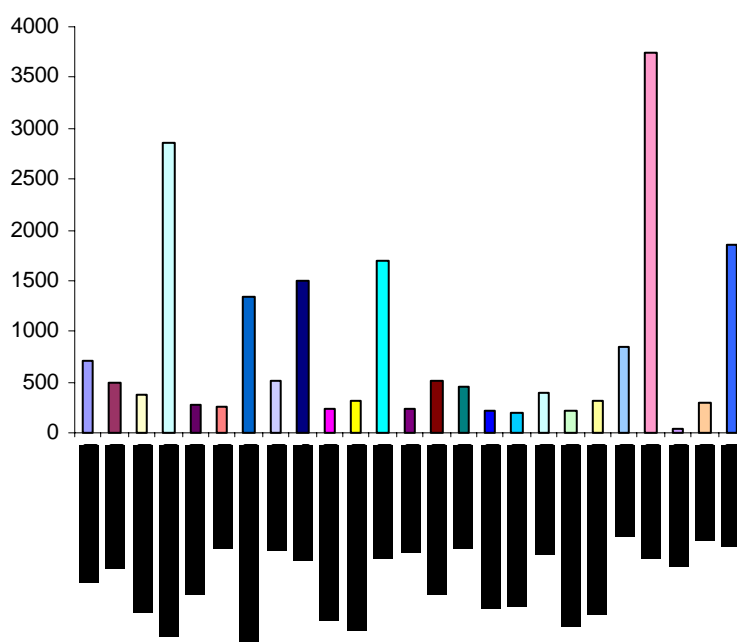


Figura 3a. Precios referentes a materias primas minerales importadas (USD/TN)

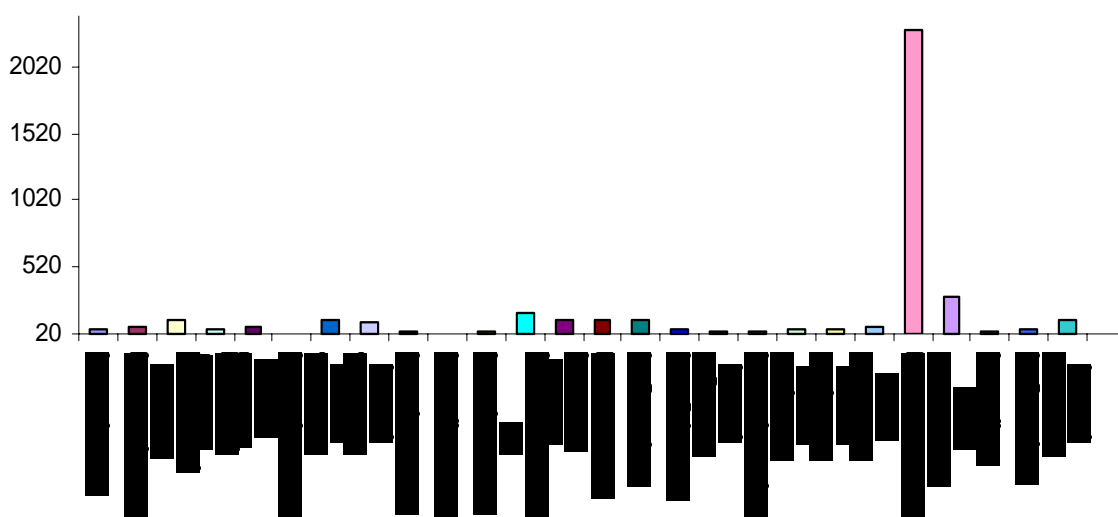


Figura 3b. Precios referentes a materias primas minerales nacionales (USD/TN).

## DISCUSION

Realizando un análisis de la demanda del consumo de estas materias primas, tanto para las nacionales como para las importadas, sus mayores volúmenes y principales usos están en el consumo de aquellas destinadas para agro menas (fertilizantes), pienso de materias primas potásicas o fosfatadas, materias primas para rellenos y la cal. Aspectos a tener en cuenta para futuros programas de investigación y/o desarrollo.

La gran mayoría de las materias primas minerales con una alta demanda como es el caso del  $\text{CaCO}_3$  y la Cal (independientemente del uso a que son destinadas) coinciden con ser también las de mayor precio en el mercado durante el año que se analiza. Respecto a las materias primas importadas, las mayores inversiones para su adquisición corresponden a aquellas que también tienen una elevada demanda (aunque no son las que ocupan el lugar cimero) como es el caso de las filtrantes, abrasivos, etc., muchas de las mismas pueden ser sustituidos por equivalentes nacionales siempre y cuándo cumplan con los parámetros de calidad que requiera el cliente trayendo consigo la sustitución de importaciones, abaratamiento de los costos e introducción en el mercado de nuevos rubros nacionales como se puede observar en la tabla I.

Teniendo en cuenta los problemas que afectan la utilización de algunas materias primas y las perspectivas de ampliar su consumo, se sugieren líneas de investigación y posibles inversiones encaminadas a solucionar problemas causados por la dependencia de las importaciones y por el agotamiento o las deficiencias en la calidad de la materia prima de gran importancia para el desarrollo para la actividad geólogo minera, entre ellas están:

- Estudio de factibilidad para las materias primas minerales utilizadas en medicina.
- Valoración de introducción en el mercado de la cal por parte de la UGM.
- Inserción de las materias primas minerales destinadas como filtrantes y abrasivos con el objetivo de sustitución de importaciones.

## CONCLUSIONES

Como conclusiones del trabajo se puede decir que con el mismo se logró tener una visión actualizada sobre la situación de la demanda en el mercado, el volumen de consumo de los productos minerales tanto importados como nacionales así como de aquellas materias primas minerales que se importan y que pueden tener su equivalente nacional considerados de gran importancia en la sustitución de importaciones.



**Tabla I. MATERIAS PRIMAS IMPORTADAS Y SU EQUIVALENCIA NACIONAL**

Mat. prima mineral	Función en los procesos.	Procedencia	Equivalencia nacional	Productos
<b>CAL (CaOH y CaO)</b>	Elimina dureza (calcio y magnesio) y ayuda a la floculación del agua en las plantas generadoras de electricidad. Clarificador. Base para la grasa de copilla	Caleras del MINAZ o de importación	Debido a la mala calidad de la cal, constituiría un mercado amplio para los yacimientos de caliza de la geominera. Como clarificador, puede ser sustituido parcial o totalmente por zeolita y magnesita.	Aguapotable,refresco,electricidad, pintura, grasa copilla, cerveza, plaguicida, insecticida, nutriente, azúcar,ron
<b>NaOH</b>	Intercambia los aniones que vienen en el agua, regenerando los filtros.	Sagua e importado.	Posibles equivalentes las zeolitas, el vidrio volcánico, la paligorskita.	Electricidad.
<b>Polielectrolitos</b>	Tratamiento del agua de las calderas en los sistemas de enfriamiento, en la floculación del agua que vienen de ríos, presas.	Se compraba a la URSS.	Posibles equivalentes las zeolitas, el vidrio volcánico, la paligorskita.	Electricidad.
<b>Tierras filtrantes</b>	Como filtrante, da brillo.	España, México.	Zeolita, bentonita, paligorskita, diatomita, vidrio volcánico.	Cerveza, refresco, ron, vinagre, vinos.
<b>Carbón activado</b>	Como filtrante, decolorizador y desodorizador.	México, China, poco cubano.	Zeolita, bentonita, vidrio volcánico, paligorskita, diatomitas.	Cerveza,refresco,ron, vinagre,vinos,azúcar,vidrio
<b>Yeso</b>	Aporta hasta un 2% de blancura al cemento blanco, llegando a tener un 90% de blancura siendo competitivo a nivel internacional.	Santo Domingo	De las salineras tiene buena calidad y de canteras.	Cemento blanco
<b>Bentonita</b>	Filtrante.Clarificar antes de filtrar con decalite, disminuyen -do el consumo del decalite..	España, México (por problemas tecnológicos) cubano.	Paligorskita, vidrio volcánico.	Cerveza, vinagre, refresco, ron.
<b>Talco</b>	Absorbente en la fábrica Suchel.	México, Italia, China, Corea.	Bentonita y no necesitan cambiar la tecnología, solo debe estar en forma de polvo no de fango.	Jabón, crema dental, detergente, limpiador
<b>Caolín</b>	Relleno, aditivo en la goma.	México	Caolín de la Isla.	Neumáticos, calzado
<b>Corindón</b>	Como bolas en el molino para la trituración de las materias primas.	Importado	Cantos rodados en los cauces de los ríos de la zona Oriental de Cuba.	Muebles sanitarios, cerámica vajillera.
<b>Potasio</b>	Junto con el Na mejora la resist.quím. y la transparencia Portador del potasio en los fertilizantes NPK.	Para el vidrio se importaba, ahora no por el costo. Para fertilizante de Canadá y México.	Las tobas potásicas, disminuiría las importaciones.	Fertilizante, vidrio.
<b>Sal Común</b>	Controlador de la viscosidad.	España.	Sal de las salineras.	Jabón, crema dental, detergente, limpiador.

## BIBLIOGRAFÍA

- Martínez Salcedo J., Pérez N., Ponce N., et al. 1994. **Pronóstico de materias primas no tradicionales de la república de Cuba**. Instituto de Geología y Paleontología.
- Martínez salcedo J., Pantaleón G., Coutín D. P., et al. 1998. **Reevaluación de las materias primas no metálicas para la diversificación de la producción nacional**. Instituto de Geología y Paleontología.
- Batista R., González V., González E. et al. 2000. **Sistema Informativo para los recursos minerales de Cuba. INFOYAC**. Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana.
- González V., Martínez Salcedo J., García Saborit M.A., et al. 2004. **Evaluación de la demanda del mercado de las materias primas minerales en la republica de Cuba**. Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana

## PROBLEMÁTICA DE DIVERSAS INDUSTRIAS CONSUMIDORAS DE MATERIAS PRIMAS MINERALES. POSIBILIDADES DE SOLUCIÓN

***Miguel García Saborít, Esther María González Rodríguez, Rolando Batista González, Virginia González Acosta***

*Instituto de Geología y Paleontología. No ---- Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón. CP 11000. Ciudad de la Habana. Cuba. Email. [miguelg@igp.minbas.cu](mailto:miguelg@igp.minbas.cu)*

### RESUMEN

Las industrias consumidoras de materias primas minerales, necesitan las fuentes de suministro cerca de sus instalaciones, de forma tal que el costo de transportación no afecte la rentabilidad de la empresa, sin embargo no en todas las industrias se cumple con esta premisa.

Problemas de esta índole se aprecian, entre otras, en la fábrica de cerámica de San José (provincia La Habana), con la arcilla, en las plantas potabilizadoras de agua, con la arena sílice y en las industrias azucarera y alimenticia, con los productos empleados como floculante o filtrante, los cuales podrían ser sustituidos por materias primas como el vidrio volcánico, la zeolita, la bentonita y la paligorskita, contribuyendo así a la sustitución de productos minerales de importación de alto costo.

Con el objetivo de ayudar en la solución de esta problemática, en el presente trabajo se proponen nuevas áreas y depósitos, portadores de estos minerales, con una ubicación más ventajosa con respecto a las fuentes empleadas en la actualidad.

Se proponen además otros depósitos o áreas potenciales de materias primas como la dolomita, las tobas potásicas, cantos rodados de gran dureza, que de consumirse, disminuirían los costos de producción a las industrias de fertilizantes, vidrio y cerámica, materias primas por cuyos costos de importación, en algunos casos, han tenido que dejar de consumirla, trayendo como consecuencias afectaciones en la calidad de sus producciones.

La información será dada mediante tablas, mapas y comentarios, dando a conocer el estado actual de los depósitos y su ubicación geográfica.

### ABSTRACT

Many of the industries consumers of mineral material raw need the supply sources near their facilities with the objective that the transportation cost does not affect the profitability of the enterprise however not in all the industries it is fulfilled this premise.

Problems of this nature are appreciated in many industries such as in the San José de Las Lajas ceramic factory (La Havana) with the clay, in the drinking water plant distributed along of the whole national territory with the silica sand and in the sugar and nutritious industries with products used as precipitate or filter which could be substituted by raw materials as the volcanic glass, zeolite, bentonite and the paligorskita, contributing in this way to the substitution of mineral products of import of high cost.

With the objective of helping to this solution, this report intends find out new areas and deposits where these minerals exist and are an advantageous and near location to the industry according to those sources that are used.

Beside, intend other deposits or potential areas of raw materials as the dolomite, potassium rocks, coarse clast of great hardness they would decrease the production costs to the fertilizer glass and ceramic industries, raw materials with very high import costs that in some cases, they have had to stop to consume it bringing as consequences affectations in the quality of their productions.

The information will be shown by maps, tables and comments, giving to know the current state of the deposits and its geographical location.

## INTRODUCCIÓN

La arcilla empleada por la fábrica de cerámica blanca San José en la provincia La Habana, es suministrada por el yacimiento Club de Cazadores ubicado en Pinar del Río.

Debido a que la arcilla es una materia prima fundamental en la pasta cerámica, se consume alrededor de 100 t mensuales, este volumen transportado por carretera, está provocando grandes gastos por concepto de transportación, por lo que sería de gran utilidad obtenerla de fuentes mas cercanas.

Otra industria con esta problemática es la de Acueductos y Alcantarillado, con serios problemas en las plantas potabilizadoras debido a que, actualmente, existen mas de 50 planta distribuidas en todo el país y se están incrementando anuales, todas necesitan de una arena que tenga alta resistencia mecánica y una granulometría requerida a las especificaciones de calidad, emplean la arena sílice de los yacimientos ubicados en la Isla de la Juventud y Cienfuegos ( yacimiento Arimao), presentando serios problemas con el suministro a todas las plantas, por problemas de la transportación.

Por otro lado se encuentran las industrias azucareras y alimenticias (centrales azucareros, fábricas de refresco, cerveza, aceite, vino, vinagre), quienes utilizan filtrantes, decolorantes y floculantes de importación, incurriendo de esta forma en considerables gastos de divisas, además de correr el riesgo de depender de suministradores extranjeros. Sin embargo, debido a la función que ejercen los mismos en los diferentes procesos industriales y la existencia en Cuba de minerales cuyas características le permiten ejercer las mismas funciones, es meritorio considerar la sustitución, al menos parcial, de estas importaciones por sus equivalentes cubanos.

En las entrevistas realizadas, también se detectaron problemas en las siguientes industrias;

- Vidrio, con los magnesiales y el potasio que necesitan, en el primer caso la recibían del yacimiento Remedios, en este momento no la reciben y en el caso del potasio, debido al alto costo en divisas no la están utilizando, trayendo como consecuencia afectaciones en la calidad de los productos.
- Fertilizantes, con el potasio, totalmente importado.
- La cerámica blanca, importan fragmentos redondeados de gran dureza (corindón), para desmenuzar la pasta cerámica en los molinos.

Estas dificultades podrían ser resueltas, teniendo en cuenta la existencia en el suelo cubano, de áreas o depósitos, portadores de minerales equivalentes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El conocimiento de los problemas en las industria, proviene de un estudio de mercado realizado en las provincias La Habana, Ciudad de la Habana y parte de Matanzas, para lo cual se entrevistaron especialistas de diferentes Ministerios y sus empresas.

Para dar los resultados, se utilizó el texto y los mapas mineragénicos pronósticos de Cuba a escala 1: 500 000 , el informe "Pronóstico de materias primas tradicionales de la república de



Cuba" y la base de datos de yacimientos INFOYAC, todos realizados en el departamento de yacimientos minerales del Instituto de Geología y Paleontología.

## RESULTADOS

Con el propósito de solucionar el problema relacionado con la lejanía de los yacimientos de arcillas, actuales suministradores de esta materia prima a la industria cerámica, se recomiendan áreas perspectivas en las provincias La Habana y Matanzas, conjuntamente con los depósitos de esta materia prima que por sus propiedades químicas y físicas puedan ser útiles para la cerámica blanca. (ver tabla y figura No1)

**Tabla No1: Depósitos de Arcilla**

Materia Prima	Cantidad de depósitos	Provincia	Estadio
Arcilla	2	La Habana	Exploración Detallada
	2	La Habana	Prospección
	3	La Habana	Reconocimiento

**Figura 1a. Áreas y depósitos de arcilla, Habana**





**Figura 1b. Áreas y depósitos de arcilla Habana-Matanzas**

Respecto a la carencia de la materia prima magnesial en las producciones de vidrio, se seleccionó un grupo de depósitos de dolomita y dolomita calcárea teniendo en cuenta la similitud en el contenido de magnesio del yacimiento Remedio, siendo este su anterior suministro, procurando además, la cercanía a las fábricas de vidrio, las cuales se encuentran en las provincias de la Habana y Ciudad de la Habana. Ver Tabla No 2.

**Tabla No2: Depósitos de rocas dolomíticas.**

Materia Prima	Cantidad de depósitos	Provincia	Estadio
Dolomitas	2	Matanzas	Exploración Detallada
Calcáreas	1	Matanzas	Reconocimiento
Calizas	1	Matanzas	Exploración Detallada
Dolomíticas	2	Matanzas y Villa Clara	Reconocimiento
Dolomitas	2	Villa Clara	Exploración Detallada
	1	Matanzas	Prospección
	5	Matanzas y Villa Clara	Reconocimiento

Para responder a las necesidades de las plantas potabilizadoras de agua, en la concerniente a la arena sílice para los filtros, se propone un grupo de 27 depósitos distribuidos en varias provincias, con diferente grado de estudio, donde se debe tener en cuenta que la mayor cantidad de ocurrencias se encuentra en la provincia de Pinar del Río, pero que también existe un gran número de ellos en estadios preliminares de investigación, distribuidos en otras provincias. (Ver tabla No 3.

**Tabla No 3: Depósitos de arenas cuarzosas**

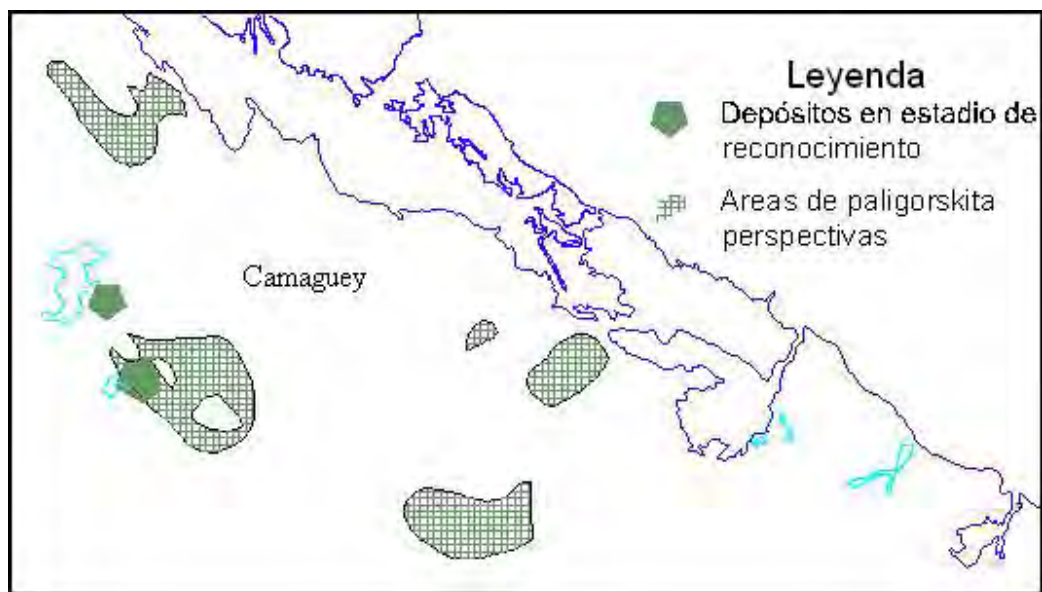
Materia Prima	Cantidad de depósitos	Provincia	Estadio
Arena cuarzosa	7	P. del Río, Sancti Spíritus	Exploración Detallada
	5	Camaguey, Sancti Spíritus	Exploración Orientativa
	7	P. del Río, V. Clara y Ciego de Avila	Prospección
	8	V, Clara, Cienfuegos, Camaguey y Ciego de Avila	Reconocimiento

Como materia prima filtrante se recomienda, entre otras la Paligorskita, debido a los resultados obtenidos en pruebas realizadas en Cuba en el filtrado de aceites comestibles y en la recuperación de grasas de copilla.

Es un mineral muy efectivo para estos fines, por lo que es muy conocida y empleada en otros países.

En este caso se dan a conocer todos los depósitos existentes y las áreas portadoras de este mineral (ver tabla no 4 y figura No 2), porque aunque presentan bajo grado de estudio, por las posibilidades de sustituir productos altamente costosos de importación, vale la pena una valoración de los mismos.

**Figura 2 Áreas y depósitos de Paligorskita**



**Tabla No 5: Depósitos de Paligorskita**

Materia Prima	Cantidad de depósitos	Provincia	Estadio
Paligorskita	1	Camaguey	Prospección
	5	Camaguey	Reconocimiento

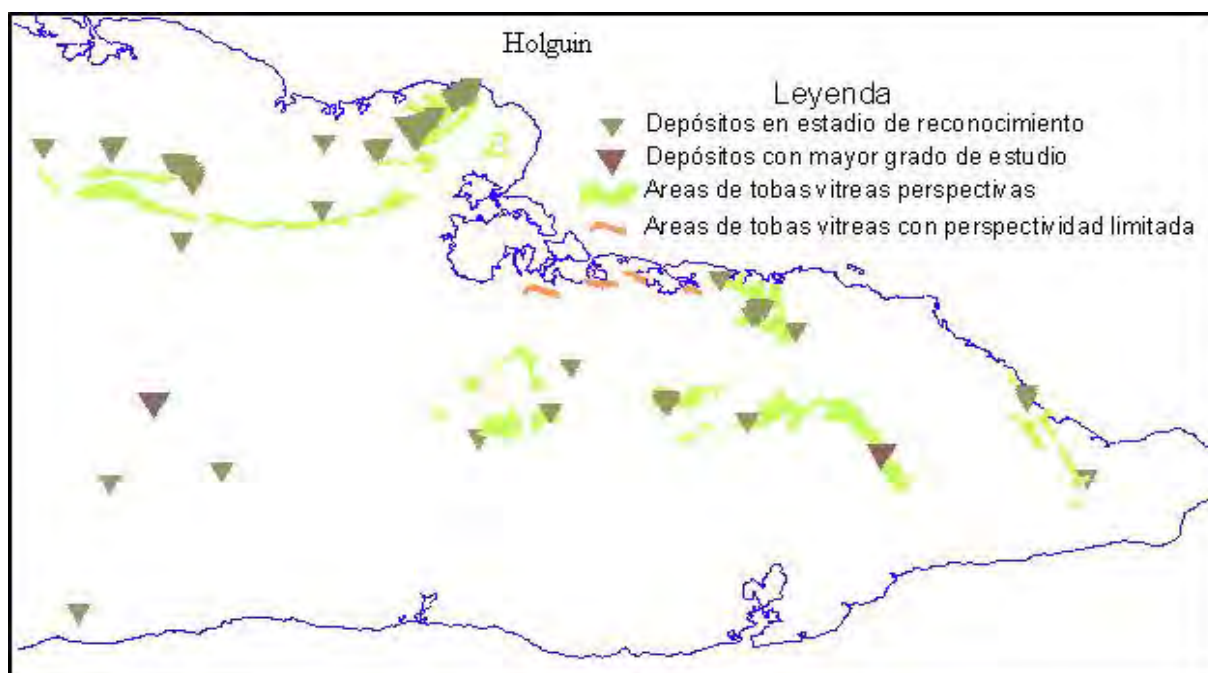
Al igual que la paligorskita, las tobas vítreas han tenido resultados positivos en las pruebas realizadas como filtrante y decolorante en la producción de aceite, cerveza, vinagre, es una materia poco conocida en Cuba y aunque existen grandes volúmenes de recursos, principalmente en la región oriental del país, el grado de estudio es bajo, no obstante debido a que puede representar un sustituto de importaciones, merece la pena valorar su introducción en las industrias cubanas.

La disponibilidad de esta materia prima (depósitos y áreas) se puede ver en la tabla no 6 y en la figura No 3.

**Tabla No 6: Depósitos de tobas vítreas.**

Materia Prima	Cantidad de depósitos	Provincia	Estadio
Tobas Vítreas	2	Guantánamo y Granma	Exploración Detallada
	1	Matanzas	Prospección
	74	Holguín, Guantánamo y Santiago de Cuba.	Reconocimiento

**Figura No 3. Áreas y depósitos de tobas vítreas.**



Otra materia prima útil como filtrante, floculante y decolorante es la toba zeolitizada, cuyos resultados obtenidos en las fábrica de vinagre, vinos, aceite y en la purificación de aguas, avalan esta materia prima para este uso.

Como depósitos portadores de este mineral, se seleccionaron aquellos depósitos con predominio de la mordenita o como el caso del yacimiento Tasajeras y San Andrés, que aunque no tienen esta particularidad, han sido probado como filtrante, dando resultados positivos. (ver tabla No 7).

**Tabla No 7: Depósitos de zeolitas.**

Materia Prima	Cantidad de depósitos	Provincia	Estadio
Tobas Zeolitizadas	15	Guantánamo, Granma, Stgo. de Cuba, Holguín, Camaguey, la Habana, Cienfuegos y V. Clara.	Exploración Detallada
	2	Camaguey y Sancti Spíritus	Prospección

Por último se proponen varios depósitos de bentonita, como otro mineral que se utiliza a escala mundial como filtrante, floculante y decolorante y que aquí en Cuba se ha empleado obteniendo buenos resultados en la industria del vino. La relación de estos depósitos y su grado de estudio, aparece en la tabla No 8.

**Tabla No 8: Depósitos de bentonita**

Materia Prima	Cantidad de depósitos	Provincia	Estadio
Bentonita	3	Granma, Ciudad de la Habana y Villa Clara.	Exploración Detallada
	3	Cienfuegos, Camaguey y Santiago. de Cuba	Prospección
	7	La Habana, Camaguey y Holguín	Reconocimiento

En cuanto a los fertilizantes NPK, se propone el área de tobas con contenidos de hasta un 11 % de potasio, ubicada en las inmediaciones del poblado San Miguel de los Baños, provincia Matanzas, ya que en pruebas realizadas con esta materia prima, se obtuvo un fertilizante de liberación lenta que suple las necesidades de potasio de los cultivos. En este caso el estudio es incipiente, para lo cual sería muy útil, elevar el grado de estudio de esta área y realizar el pronóstico de otras áreas con características geológicas similares. De contar con esta fuente de potasio, el país disminuiría considerablemente el gasto en divisas por concepto de importación, favoreciéndose la agricultura y con grandes posibilidades de suministrar el potasio a la industria del vidrio, la cual la necesita y no la utiliza por el alto costo del producto en el mercado internacional.

Finalmente se propone una solución al problema que presentan las fábricas de cerámica blanca con la importación de los fragmentos redondeados de gran dureza, en este caso se podrían utilizar los cantos rodados de la parte baja de los cause de los ríos de la región oriental de Cuba, fundamentalmente los que desembocan hacia el sur de la región, los cuales están representados por, riolitas, microgabros, cuarzo, etc.

## CONCLUSIONES

1. Con el trabajo se demostró la existencia de suficientes recursos minerales y con la calidad requerida para cumplir con las necesidades y la demanda de las industrias mencionadas.
2. En dependencia de la demanda y el gasto en divisas de un grupo de industrias por concepto de importación de sus materias primas, valorar la elevación del grado de estudio de los

depósitos existentes en Cuba así como perfeccionar el proceso tecnológico necesario para elevar la calidad de los mismos, de forma tal que sean competitivos con los importados.

3. Sería conveniente valorar la posibilidad de extraer la materia prima mediante la pequeña minería, en los casos que se necesite poco volumen o localmente, por todo el tiempo de vida de la industria.

## BIBLIOGRAFÍA

- Martínez Salcedo J., Pérez N., Ponce N., et al. 1994. ***Pronóstico de materias primas no tradicionales de la república de Cuba***. Instituto de Geología y Paleontología.
- Martínez salcedo J., Pantaleón G., Coutín D. P., et al. 1998. ***Reevaluación de las materias primas no metálicas para la diversificación de la producción nacional***. Instituto de Geología y Paleontología.
- Batista R., González V., González E. et al. 2000. ***Sistema Informativo para los recursos minerales de Cuba. INFOYAC***. Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana.
- González V., Martínez Salcedo J., García Saborit M.A., et al. 2004. ***Evaluación de la demanda del mercado de las materias primas minerales en la republica de Cuba***. Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana



## EL PAPEL DE LOS MINERALES EN EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE CUBA ACTUALMENTE

**Esther María González Rodríguez, Miguel A. García Saborít, Virginia González Acosta, Rolando Batista González.**

***Instituto de Geología y Paleontología. No ---- Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón. CP 11000. Ciudad de la Habana. Cuba. email. [esther@igp.minbas.cu](mailto:esther@igp.minbas.cu)***

### RESUMEN

Debido a que la actividad geólogo minera tiene entre sus tareas, la evaluación, procesamiento y el suministro a las industrias de los minerales naturales, se procedió a investigar el estado actual de las empresas consumidoras de materias primas minerales.

Como resultados de estas investigaciones, se demostró que, dentro del total de materias primas que se emplean, el carbonato de calcio, la arena sílice, el carbón activado, la cal, feldespatos, sal y zeolitas, constituyen los productos minerales mas ampliamente utilizados (ver gráfico) y toda la producción de arcillas, esquistos, calizas y margas, es suministrada por las industrias del cemento y cerámica, consumiendo grandes volúmenes de estas materias primas.

Otras materias prima como la barita, tierras filtrantes, asbesto, rocas fosfóricas, manganeso, zinc, azufre, aunque no se consumen grandes volúmenes, si tienen gran peso en el desarrollo económico de Cuba, puesto que la mayor cantidad que se utiliza proviene del exterior, lo que conlleva un notable gasto en divisas.

Finalmente y como otro objetivo, se proponen nuevas líneas de trabajo dirigidos a dar solución a diversos problemas relacionados con minerales tales como, la bentonita, las zeolitas, rocas potásicas, tierras filtrantes, dolomita, hierro y manganeso.

### ABSTRACT

Because the geomining activity has among its tasks the evaluation, processing and the supply to the industries of the natural minerals was investigated the current situation of the industry consumers of mineral material raw.

As results of these investigations, it was demonstrated that the total of raw material very useful by many industries, the carbonate of calcium, silica sand, activated coal, lime, feldspar, salt and zeolites constitute the mineral with an wide used and the whole clay production, schists, limestones and marls are by the cement and ceramic industry, consuming big volumes of these raw materials.

Other raw materials as the barite, filter lands, asbestos, phosphoric rocks, manganese, zinc, sulphurs, although do not has a big consumption have a high weight in the economic development of Cuba due to the biggest quantity are imported to a very high cost.

Finally and as another objective, the report intend introduce new research lines directed to give a solution to several problems related with minerals such as: bentonite, zeolite, potassium rock, filter lands, dolomite, iron and manganese.

### INTRODUCCIÓN

Se realizó un estudio de la demanda del mercado de los productos minerales ya fuesen suministrados por la minería cubana o de importación, en más de 60 entidades de diferentes ministerios, en las provincias Ciudad de la Habana, La Habana, Matanzas y Pinar del Río.

Con este estudio se demostró, la incidencia de los minerales en el desarrollo actual socio económico de Cuba así como las condiciones que presentan las industrias en el consumo de los mismos, lo cual se muestra mediante tablas, gráficos y comentarios.

Teniendo en cuenta los problemas que afectan la utilización de determinadas materias primas y las perspectivas de ampliar el consumo de un grupo de minerales, se proponen nuevas líneas de investigación encaminadas a solucionar problemas causados por la dependencia de las importaciones y por el agotamiento o las deficiencias en la calidad de la materia prima.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo fue efectuado tomando como referencia las entrevistas realizadas a especialistas de entidades pertenecientes a diferentes ministerios.

De estas entrevistas se obtuvieron datos a cerca del mineral empleado, especificaciones de calidad, procedencia, volumen, costo, proceso en el que interviene, función en el mismo, perspectivas de ampliar el consumo, etc, que fueron volcados en una base de datos digital.

La base de datos nos facilitó el tratamiento de la información, seleccionando los datos de interés que se consideraron objeto del presente trabajo.

## RESULTADOS

Con el procesamiento de la base de datos se conocieron las materias primas minerales empleadas actualmente, las industrias que la consumen, el volumen y la procedencia, lo cual se muestra a continuación;

**Arcilla refractaria (4 t/año);** Empleada en la fundición y es suministrada por yacimientos localizados en la provincia de Camaguey.

**Arcillas (8 464 t/año);** Se emplea en la industria cementera y en la cerámica blanca, roja y técnica. En el primer caso los yacimientos se encuentran en los alrededores de cada planta, en el resto de las industrias, la materia prima se recibe de yacimientos ubicados en Pinar del Río, Isla de la Juventud y La Habana.

**Arena Sílice (17 774,9 t/año);** Es una materia prima de amplio espectro, siendo utilizada para la fabricación del cemento blanco, en la cerámica blanca y técnica, en la producción de bebidas y refrescos, industria del vidrio, en el filtrado de el agua potable, plantas de plaguicida, fundición y construcciones marítimas. La arena proviene de yacimientos nacionales.

**Areniscas;** En la fabricación de cemento. Se abastece de yacimientos ubicados en los alrededores de las plantas.

**Asbesto (10 t/año);** Para la planta de asbesto cemento. La materia prima es importada.

**Azufre y Barita;** En la industria del caucho y la goma. Ambos minerales se importa.

**Bentonitas (170,17 t/año);** Se emplea en las fábricas de cerveza, vinagre, vinos, entre otros y en la fundición. La materia prima se suministra del yacimiento Managua, provincia La Habana y en determinados casos se importa.

**Cal ( 62 005,9 t/año);** Constituye uno de los productos minerales mas utilizados, Dentro del considerable grupo de industrias que la necesitan aparecen; los centrales azucareros, las empresas de bebidas y refrescos, la construcción, en algunas centrales termoeléctricas, nutrición animal, sanidad vegetal, fundición, acueductos y en la fabricación de grasas lubricantes. En al mayoría de los casos se abastecen de las caleras del MINAZ, una minoría, la obtienen de yacimientos ubicados en las provincias; Villa Clara, Santiago de Cuba y Ciego de Ávila y en productos muy específicos, que necesitan la cal de alta pureza la importan.

**Calizas;** De alto consumo por la industria de la construcción, cemento y gases industriales. Los

yacimientos se encuentran distribuidos por todo el territorio nacional.

**Calizas Fosfatizadas (35 000 t/año);** Empleada en la empresa de derivados agroquímicos, obtiene la materia prima del yacimiento Trinidad de Guedes, provincia Matanzas.

**Caolín (6 935 t/año),** Materia prima básica en disímiles industrias, tales como; cemento blanco, sanidad vegetal, cerámica blanca y técnica, productos de caucho y goma, fábricas de esmeril, papel, plaguicidas y fundición. Abastecido por yacimientos de la Isla de la Juventud, Las Tunas y Gaspar en los casos que necesitan caolín de alta pureza lo importan.

**Carbonato de calcio (84 024,1 t/año;** Representa una materia prima básica para un considerable grupo de industrias, ellas son; nutrición animal, cerámica blanca y técnica, productos industriales de caucho y goma, papel, en la fabricación de pienso, vidrio, refinería, fundición y cosméticos. En la mayoría de los casos se abastece de yacimientos cubanos, principalmente del yacimiento Colina, ubicado en la provincia La Habana. Se importa para los productos donde se necesita de otra tecnología no desarrollada en las plantas nacionales.

**Zirconio, grafito y cromo** (fundición), **Cobre y Zinc** (nutrición animal), **Corindón** (cerámica blanca), **Cuarzo y Granate** (fábrica de esmeril), **Pirita** (industria del vidrio). Como se puede ver, tienen un uso muy limitado, todos son de importación, excepto el cromo que es de procedencia nacional.

**Dolomitas (1200 t/año);** Se utiliza en la industria del vidrio y fertilizantes. Se abastecen del yacimiento Remedios, ubicado en la provincia Villa Clara.

**Esquistos arcillosos (7 336,5 t/año);** Se emplea tanto en la cerámica blanca como en la roja. Toda la materia prima es suministrada por depósitos ubicados en Pinar del Río.

**Limonita;** Se importa por el contenido de hierro, para la fundición.

**Hierro;** Como micro nutriente en la alimentación animal y en la industria del cemento, en el primer caso se importa.

**Magnesita;** Se emplea en la fabricación de fertilizantes, en cosméticos y en la fábrica de esmeril. Abastecidos por el yacimiento Redención, el cual se localiza en Camaguey.

**Manganeso;** Nutrición animal y fundición. En el primer caso lo importan.

**Margas;** Para el cemento, cada planta tiene sus yacimientos en los alrededores y para cerámica, suministrada por el yacimiento Managua de La Habana.

**Rocas Feldespáticas (6 597 t/año);** Se emplea en la producción de vidrio, fábrica de esmeril y cerámica blanca y técnica. Se abastecen de los yacimientos ubicados en Holguín y Sancti Spíritus, en el caso de la cerámica técnica, importan una parte.

**Sal Común (8 078,6 t/año),** Se emplea en diversa industrias, ellas son; nutrición animal, centrales azucareros, fábrica de refrescos, cervezas, vinagre, ron, en las centrales eléctricas, la goma, producción de gases industriales y en cosméticos. En todos los casos se abastecen de las salineras nacionales, excepto para cosméticos donde una parte es importado.

**Talco(3 800 t/año);** Útil a una gran variedad de industrias, representadas por; sanidad vegetal, cerámica blanca y técnica, productos de caucho y goma, fundición, planta de plaguicidas y cosméticos. Todo el volumen que se consume es importado.

**Tierras filtrantes (87,4 t/año);** Indispensable para las industrias productoras de cerveza, licores, refrescos, vinagre y vino. Es una materia prima que ha llevado un proceso tecnológico, no desarrollado en Cuba, por lo que se importa totalmente.

**Tobas;** En la producción de cemento, cada planta tiene sus yacimientos en los alrededores.

**Vidrio Volcánico;** Se emplea en la producción de lijas, lo suministra el yacimiento Ají de las Calderas, de la provincia de Guantánamo.

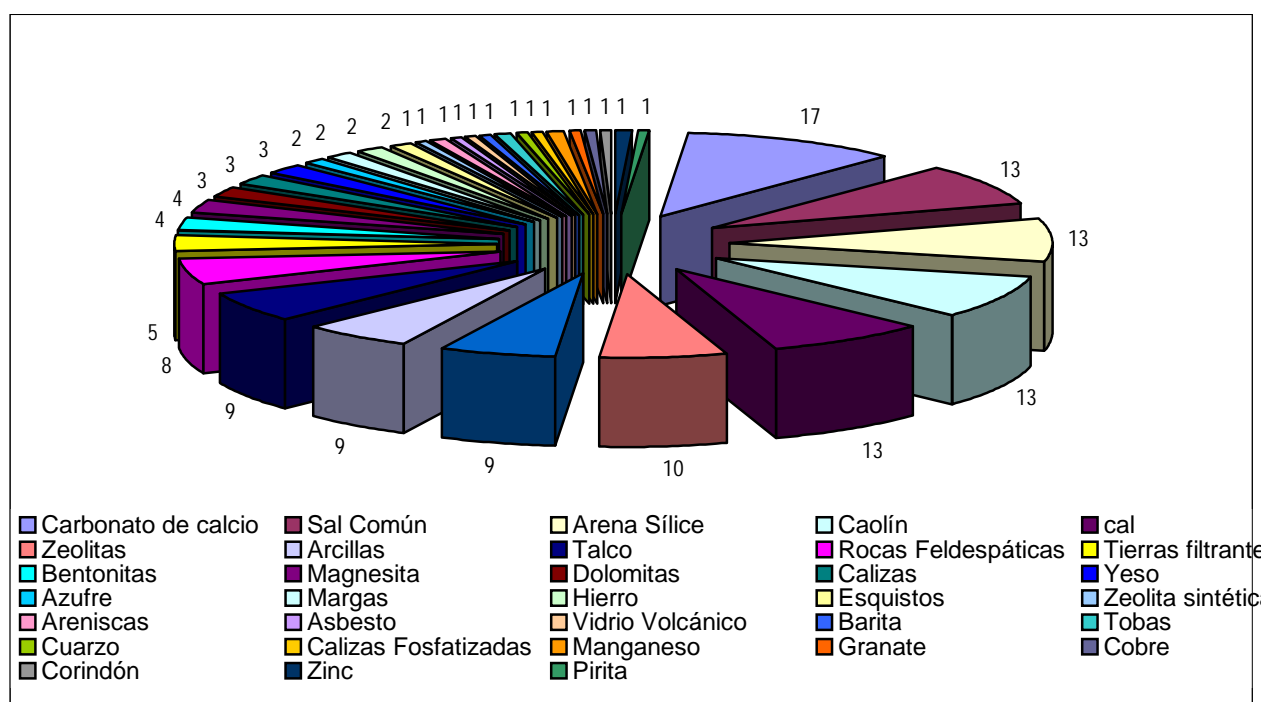
**Yeso (750 t/año);** Se utiliza en el cemento blanco, donde lo importan y en la cerámica vajillera, suministrado por los yacimientos Baitiquirí y Punta Alegre, de las provincias Guantánamo y Ciego de Ávila.

**Zeolitas (5 045,5 t/año);** Se está empleando en pequeñas cantidades, en las siguientes

**Zeolita sintética (730 t/año);** Totalmente importado para su uso en la refinería de petróleo..

La cantidad de industrias que utilizan minerales en sus procesos productivos, se muestra en la figura No1.

**Figura No 1. Cantidad de industrias que emplean materias primas minerales**



## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Otras materias prima como la barita, tierras filtrantes, asbesto, rocas fosfóricas, manganeso, zinc, azufre, aunque no se consumen grandes volúmenes, si tienen gran peso en el desarrollo

económico de Cuba puesto que la mayor cantidad que utilizan, proviene del exterior, lo cual trae un notable gasto en divisas.

Debemos destacar además que, según los clientes, un considerable grupo de estos minerales tienen perspectivas de aumentar su consumo, ellas son:

**Arcillas:**

La industria cerámica en general es la principal consumidora de arcillas, con la existencia de numerosas empresas distribuidas en todo el país, incluyendo las fábricas productoras de muebles sanitarios, losas, etc, artículos de alta demanda tanto para la población como para los organismos. Además, se prevé la construcción de una nueva planta con tecnología moderna, con la que se consumirá mayor cantidad de arcilla de la que actualmente se consume.

En la industria del cemento (Fábrica de Cienfuegos), se están realizando reparaciones con un cambio total de tecnología y esto trae como consecuencia la necesidad de mayores volúmenes de arcilla.

**Arena sílice:**

Dentro de los consumidores de este mineral, en la industria del vidrio se están haciendo algunas reparaciones y se va a construir una planta con tecnología de punta que va a aumentar en un 10% el consumo de sus materias primas.

La plantas potabilizadoras de agua la utilizan en los filtros, en estos momentos existen más de 50 plantas y se incrementan anualmente.

En cerámica, la nueva planta aumentaría el consumo actual de arena sílice.

**Asbesto:**

Se consume por la planta de asbesto cemento, tiene perspectivas, pero depende del financiamiento.

**Bentonita:**

Por sus propiedades, se puede emplear en diversas industrias, pero en estos momentos las posibilidades de ampliar su consumo depende de la disponibilidad de clientes como las fábricas de cerveza, vinos, aceites, vinagre, etc, de emplearlas, de hecho ya algunas la están utilizando y otras tienen en sus planes utilizarla en un futuro inmediato, además se necesitan pruebas de uso.

En el caso de las plantas potabilizadoras de agua, de tener resultado en las pruebas con todos los depósitos existentes, la emplearían como floculante.

En la empresa de ingeniería para la industria eléctrica, se podría emplear como conductor, cuyo objetivo es mantener baja la resistividad, en estos momentos no se prueba porque se desconoce su resistividad, de conocer este parámetro, se utilizarían grandes cantidades, sustituyendo el producto que se emplea actualmente que es de importación.

**Carbonato de calcio:**

Independientemente que es una de las materias primas minerales que mas se consumen actualmente, llegando incluso en ocasiones a no poder satisfacer la demanda de las industrias, tiene perspectivas de continuar ampliando el consumo, por parte de la industria cerámica, del vidrio, la goma, combinado avícola, entre otros.

**Hidróxido de calcio:**

Es otra de las materias primas mas empleadas, y continua en aumento su consumo por parte de varias ramas como son; acueducto y alcantarillado, al incrementar sus plantas potabilizadoras anualmente, el CAN, ya que todas sus unidades necesitan de este producto.

**Feldespatos:**

Como materia prima básica en la industria cerámica (muebles sanitarios y vajillera) y en la industria del vidrio, con las reparaciones en el equipamiento tecnológico y la construcción de las nuevas plantas, se prevé un aumento de un 10 % en el consumo de esta materia prima.

**Zeolitas:**

Se está incrementando el uso como filtrante o como floculante en las fábricas de cerveza y se prevé su empleo en camada de aves, conejos, porcino, etc.

En la producción de azúcar, como clarificador y para eliminar impurezas se obtienen mejores resultados que con la cal, por este concepto, se pronostica un elevado consumo.

Teniendo en cuenta la situación que presentan algunas industrias y las perspectivas de ampliar el consumo de un grupo de materias primas, se proponen nuevas líneas de investigación o desarrollo para la actividad geólogo minera, ellas son;

1. Introducción de la paligorskita y prueba de uso en el filtrado de aceite comestible.
2. Introducción del vidrio volcánico como abrasivo.
3. Introducción de la paligorskita, vidrio volcánico y bentonita como filtrante y clarificante, en las fábricas de cerveza.
4. Introducción de la bentonita en la elaboración del jabón, crema dental y en la producción de vinagre.
5. Prestar atención priorizada a la arena sílice, dados los problemas con la granulometría y la necesidad de esta materia prima, para el filtrado del agua potable, además, podría servir cualquier tipo de arena siempre que cumplan con los requerimientos de resistencia mecánica y granulometría.
6. Búsqueda de nuevas fuentes de suministro de dolomita para el vidrio.
7. El vidrio requiere de materias primas portadoras de potasio, esta no se incluye en la formulación por su alto costo de importación, por lo que se sugiere la investigación de rocas portadoras de potasio en Cuba.
8. Para nutrición animal se requiere de alguna fuente de manganeso y hierro, para confeccionar un suplemento alimenticio. Se precisa valorar algunos depósitos o continuar con las investigaciones de las colas de Moa ejecutadas por el CIPIMM.

## BIBLIOGRAFÍA

- Martínez Salcedo J., Pérez N., Ponce N., et al. 1994. ***Pronóstico de materias primas no tradicionales de la república de Cuba***. Instituto de Geología y Paleontología.
- Martínez salcedo J., Pantaleón G., Coutín D. P., et al. 1998. ***Reevaluación de las materias primas no metálicas para la diversificación de la producción nacional***. Instituto de Geología y Paleontología.
- Batista R., González V., González E. et al. 2000. ***Sistema Informativo para los recursos minerales de Cuba. INFOYAC***. Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana.
- González V., Martínez Salcedo J., García Saborit M.A., et al. 2004. ***Evaluación de la demanda del mercado de las materias primas minerales en la república de Cuba***. Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana.





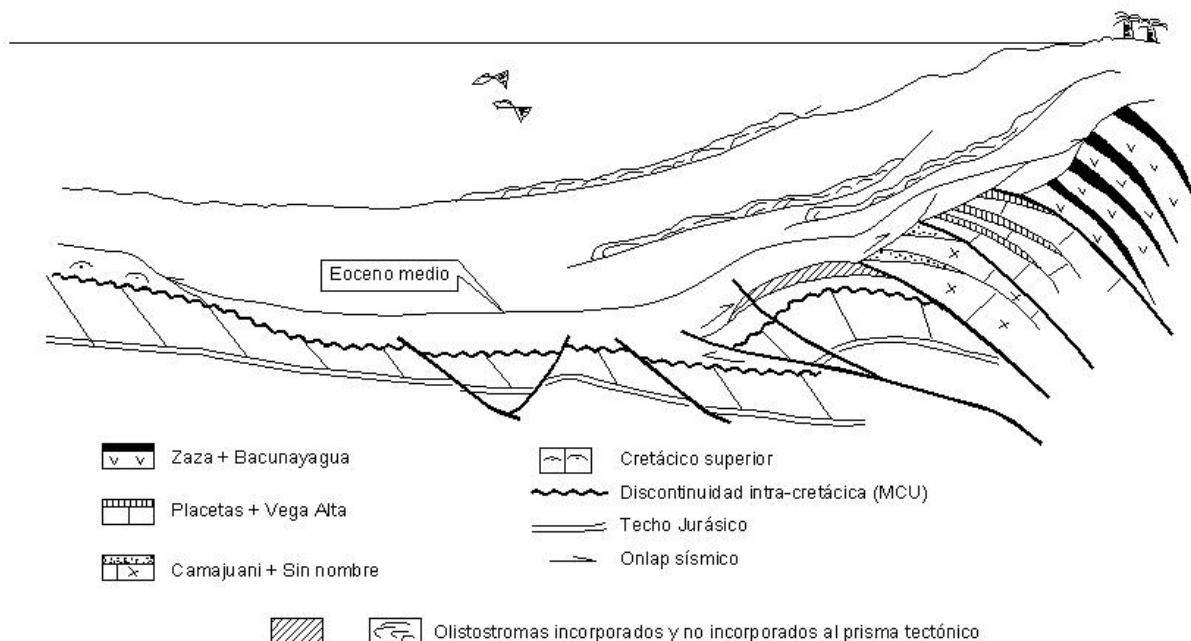
## EVOLUCIÓN TECTO-SEDIMENTARIA DEL NOROESTE DE CUBA

Wenceslao Martínez del Olmo, Sofía Soriano, Susana Torrecusa y Carlos Ríaza  
RepsolYpf. Paseo de la Castellana 280. 28046 Madrid.

A partir de la información provista por: la ordenación paleo-geográfica comúnmente aceptada, edad y características sedimentarias de las formaciones, superposiciones normales y anormales, líneas sísmicas y ejemplos del área España, se interpreta un modelo evolutivo del complejo cinturón plegado del NO de Cuba. Este modelo tecto-sedimentario establecido entre el Cretácico terminal y el Eoceno medio puede resumirse en:

- 1) Corrimiento y elevación tectónica del Terreno Zaza y su cobertera (Bacunayagua-Vía Blanca). El Campaniense-Maastrichtiense constituye así el primer conjunto sedimentario que puede ser desplazado como cuenca de *piggy back*.
- 2) Deslizamiento gravitatorio, tipo olistostromico (Vega Alta-Manacas) sobre la UTE Placetás, ya deformada y tectónicamente erosionada.
- 3) Cabalgamiento de Zaza+Placetás sobre la UTE Camajuani con la progresiva verticalización de las unidades tectónicas más meridionales y la creación de un abrupto talud tectónico descendente al surco frontal.
- 4) Colapso extensional en el Eoceno inferior que, en el surco frontal, genera un frente contractivo tipo cabalgamientos pie de talud y pequeños olistostromas, proceso que entendemos semejante al inductor de Vega Alta-Manacas.
- 5) Continuidad del proceso compresivo-gravitatorio que ocasiona, desde el este al oeste y de sur a norte, la progresiva incorporación tectónica a la faja plegada de UTEs tipo Remedios y la llegada al surco frontal de nuevos deslizamientos tipo olistostromico. Ambos hechos permiten augurar la presencia de almacenes carbonatados y dolomíticos, anteriores a la discontinuidad MCU, y sellos tipo Vega Alta, en las jóvenes unidades, poco deformadas, frontales y profundas, de la faja plegada.

Podríamos así decir que la faja plegada del norte de Cuba se caracteriza por una sucesión de eventos contractivos que crean un inestable prisma tectónico que es inmediatamente desestabilizado por colapsos extensionales. Estos últimos producen cabalgamientos de pie de talud y pequeños olistostromas que, deslizados a los sucesivos surcos frontales, constituyen los excelentes sellos de los yacimientos de petróleo.



## ANÁLISIS MICROFACIAL COMPARATIVO DE LAS FORMACIONES ARTEMISA Y GUASASA, CORDILLERA DE GUANIGUANICO, CUBA OCCIDENTAL

**Santa Gil González<sup>(1)</sup>, Dora García Delgado<sup>(2)</sup> y Evelio Linares Cala<sup>(1)</sup>.**

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No 169, Esq. Churruca, Cerro, C. de la Habana, Cuba, E-mail: [santa@ceinpet.cupet.cu](mailto:santa@ceinpet.cupet.cu), [bello@ceinpet.cupet.cu](mailto:bello@ceinpet.cupet.cu).

(2) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, E-mail: [dora@igp.minbas.cu](mailto:dora@igp.minbas.cu)

### RESUMEN

Los depósitos de las formaciones Artemisa y Guasasa afloran en la Cordillera de Guaniguanico y representan las secuencias de margen continental del Jurásico Superior Oxfordiano al Cretácico Inferior Neocomiano en la subzonas Sierra del Rosario y Sierra de los Organos respectivamente.

En la Formación Artemisa se confirma tres facies fundamentales: facies de cuencas y condiciones neríticas de mares abiertos, facies de talud y facies con elementos de aguas someras: los cuales pueden asociarse con los diferentes miembros de la Formación Guasasa.

La facies de cuencas y condiciones neríticas de mares abiertos es la más común y con la cual prácticamente se ha caracterizado la formación Artemisa. Diferentes elementos lito y biofaciales permiten establecer una correspondencia entre estos depósitos y las secuencias propias de los cinturones 1 y 2 de Wilson, J. L. (1975). Esta facies puede ser identificada con la de los miembros El Americano y Tumbadero

La facies de talud es menos distribuida que la anterior y puede observarse en áreas aledañas al Mirador de Soroa. La mezcla de sedimentos de grano fino con estructura de deslizamiento gravitacional y sedimentos fragmentarios permiten corresponder estas secuencias con las propias de los cinturones faciales 3 y 4 de Wilson.

La facies con elementos de aguas someras está dada por la presencia de grainstone contenedores de oolitos y organismos bentónicos. Tanto la facies anterior como esta, evidencian la presencia de depósitos tipo San Vicente en Sierra del Rosario.

### ABSTRACT

Artemisa and Guasasa formations appear in the Cordillera de Guaniguanico, Pinar del Río province and represent the continental margin sequences from the Upper Jurassic Oxfordian to Lower Cretaceous Neocomian in the tectonostratigraphic units Sierra del Rosario and Sierra de los Organos respectively.

It was confirmed that Artemisa Formation contains three main facies: basins facies and neritic conditions of open seas, shallower facies and facies with elements of shallow waters: which can associate with the different members of the Guasasa Formation.

Basins facies and neritic conditions of open seas: It is the most common an one which practically the Artemisa Formation has been characterized. Different elements litho and biofacial allow establishing a correspondence between these deposits and the sequences characteristic of the belts 1 and 2 of Wilson, J. L. (1975). These facies can be identified with the American and Tumbadero Members

Bank facies: This facies are less distributed than the previous one and it can be observed in areas near to the Mirador de Soroa (Chang, J. C. in Martinez, D. et al., 1991, unpublished). The mixture of silts of fine grain with structure of slip gravitational and fragmentary silts allows relationship these sequences with those characteristic of the facial belts 3 and 4 of Wilson.

Facies with shallow waters elements: It is given by the occurrence of grainstone containers oolites and benthonic organisms. As much the previous facies as this evidence the presence of deposits San Vicente type in Sierra of the Rosario.

## INTRODUCCION

Los depósitos de las formaciones Artemisa y Guasasa afloran en la Cordillera de Guaniguanico, provincia de Pinar del Río, Cuba Occidental y representan las secuencias de margen continental del Jurásico Superior Oxfordiano al Cretácico Inferior Neocomiano de las unidades tectonoestratigráficas Sierra del Rosario y Sierra de los Organos respectivamente.

Ambas unidades están constituidas por calizas masivas de aguas someras en la base, con nódulos y lentes de silicitas, brechas calcáreas, calizas dolomitizadas, micritas, calcarenitas, lutitas, limolitas, e intercalaciones de silicitas culminando el corte con depósitos de facies pelágicas. Su equivalencia temporal desde un inicio, ha quedado bien establecida, mientras que han existido diversas opiniones en cuanto a su paridad facial sobre todo la relacionada con la existencia de una facies somera en la Sierra del Rosario.

Tal conjunto sedimentario, ha sido estudiado por numerosos investigadores distinguiendo en el mismo variaciones litofaciales y diferentes subunidades de mayor o menor uso por los estudiosos del tema. Se asume entonces, el esquema adoptado por Martínez, D. et al. (1991), a partir del establecido por Pszczolkowski, A. et al. (1978, 1987), y aprobado por el Léxico Estratigráfico de Cuba, donde la Formación Guasasa aparece constituida por los miembros San Vicente, El Americano, Tumbitas y Tumbadero. Con relación a la Fm. Artemisa esta tratada en su sentido mas amplio sin preferir uno u otro esquema, haciendo referencia a las facies presentes en ella sin hacer énfasis en los miembros que la componen. De hecho, se centra en ella el estudio realizado con vista a su comparación con las diferentes facies establecidas de la Formación Guasasa.

## ANTECEDENTES

Los primeros estudios sobre las microfacies de la Formación Artemisa pertenecen a Lewis, J. W. (1932) y las de la Fm. Guasasa a Herrera, N. M. (1961). Posteriormente, fueron estudiadas por Pszczolkowski durante los levantamientos geológicos a escala 1:250 000 realizados en la provincia de Pinar del Río durante la década del 70, asumiendo la denominación de Grupo Viñales para los depósitos carbonatados desde el Oxfordiano Tardío hasta el Albiano, donde se distinguieron cinco formaciones: Guasasa, Pons, Artemisa, Lucas y Polier. Las Formaciones Artemisa y Guasasa fueron a la vez subdivididas. La primera, en los miembros San Vicente, La Zarza y Sumidero, la segunda en los Miembros San Vicente, El Americano, Tumbadero, Tumbitas e Infierno. En los depósitos del miembro San Vicente, fueron descritos los siguientes tipos de microfacies: micritas con coprolitos, pelsparitas, oomicritas y oosparitas, biosparitas, biomicritas, calizas oncolíticas, intraoosparitas e intrabiosparitas. Para el Miembro El Americano, biomicritas con calpionélidos y biomicritas radioláricas con o sin calpionélidos, estas últimas para la parte más alta de la unidad. Las citadas microfacies también predominan en la parte inferior del Miembro Tumbadero. Para el restante miembro Tumbitas, son descritas biomicritas con calpionélidos, biomicritas radioláricas y radioláricas con calpionélidos.

Chang, J. C. (en Martínez et al. 1991, inédito), agrega a la subdivisión de la Formación Artemisa una unidad informal la cual nombra El Mirador. Ellos describieron calizas masivas con lentes y nódulos de silicitas, brechas calcáreas en la base y calizas estratificadas en la cercanía del tope, presentando variaciones litofaciales que la diferencian del resto del corte de la formación. Los autores consideran, que a pesar de su similitud litológica con las rocas del miembro San Vicente de la formación Guasasa en la Sierra de los Organos y considerarla en sinominia, no debe ser contemplada como una misma unidad litoestratigráfica. No obstante, la ausencia de fósiles y la no determinación de las secuencias que la suprayacen, tentativamente la data como de edad Jurásico Superior Kimmeridgiano - Cretácico Inferior Berriasiano.

Myczynski, R. y Pszczolkowski, A. (1994) en su trabajo sobre Estratigrafía y Microfacies del Tithoniano en la Sierra del Rosario (Formación Artemisa), distingue el horizonte *Parakeratinites* sp. y tres zonas de ammonites, las cuales correlacionan con las zonas *Saccocomas*, *Chitinoidea* y *Crassicollaria*; por otro lado diferencian cinco microfacies por primera vez teniendo en cuenta el contenido biogénico: *Saccocoma-Didemnidae*, microfacies con *Calcisfera*, microfacies con *Globochaete*, microfacies con *Chitinoidea* y microfacies Radioláricas. El esquema bioestratigráfico en cuestión, se corresponde salvo algunas modificaciones, con el introducido por Myczynski, R. et al. (1989) para los depósitos tithonianos de la cordillera de Guaniguanico.

Blanco, S. y colaboradores (2002), estudiaron los depósitos en el subsuelo y reportaron la presencia de la unidad en los pozos Martín Mesa 2, Cayajabos 3 y CHD-IX. No reconocieron el miembro San Vicente dentro de la Formación Artemisa, por aflorar según los referidos autores, limitadamente en la Sierra del Rosario y constituir una incongruencia en la nomenclatura estratigráfica pues el miembro de una formación no lo puede ser a la vez de otra. Eliminaron prácticamente todos los miembros, ya que al quedar excluidos San Vicente y elevar al rango de formación al Miembro Sumidero, la subdivisión para ellos no tiene sentido. Sin embargo, proponen la existencia del Miembro Cayajabos para distinguir el tipo de corte carbonatado con aporte terrígeno de la secuencia carbonatada, ignorando el Miembro La Zarza.

Coincidiendo con investigadores anteriores (Segura, R. et al., 2002), detallaron la Formación Guasasa en el pozo Pinar 1, como calizas masivas y estratificadas, con nódulos de pedernales y variables en microfacies. Al igual que otros autores, reseñan brechas al parecer de origen sedimentario. Asumen la subdivisión en cinco miembros establecidas por Pszczolkowski, A. (1978). Elevan a nivel de grupo el rango de la unidad por su gran extensión estratigráfica del Jurásico Superior Oxfordiano al Cretácico Inferior Cenomaniano. Ellos reportan el Miembro San Vicente en dos intervalos de profundidades diferentes, haciendo un estudio sedimentológico detallado del mismo, distinguiendo en cada uno de ellos 4 paquetes litológicos diferentes. También reportan la presencia de *Favreina joukovsky* y *Favreina salevensis* propias de un ambiente de plataforma interna e indicadoras de la edad Kimmeridgiano de la unidad.

Fernández, J. (1998), en su tesis doctoral sobre la bioestratigrafía del Jurásico-Cretácico en Pinar del Río, estableció este límite Jurásico-Cretácico (basado en el estudio de la Familia Calpionellidae) en el contacto entre los Miembros El Americano y Tumbadero. Hace una zonación en detalle para dicho intervalo, basado en microfósiles planctónicos de la paleoprovincia del Tethys, además estos fósiles son por primera vez utilizados en la datación de los pisos Kimmeridgiano y Tithoniano. También establece los principales paleoambientes del Jurásico Superior-Cretácico Inferior Neocomiano.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron mas de 100 muestras por el método de sección delgada, tomadas en las localidades Mameyal, Río Caimito, Los Bermejales, Río San Juan, NE de Los Tumbos, La Muralla, El Brujo y Las Terrazas, en la región montañosa de la Sierra del Rosario y en las localidades del Sitio y Pan de Azúcar ubicadas en la Sierra de los Órganos, provincia de Pinar del Río.

Para el estudio petrográfico de las rocas se aplicó la clasificación de Dunham, R. J. (1962) ampliada y modificada por Embry, A. F. y Klovan, J. E., (1971). Para la clasificación de las microfacies, se tuvieron en cuenta los cinturones faciales y las microfacies estándar de Wilson J. L. (1975), así como las microfacies establecidas por Myczynsky, R. y Pszczółkowski, A. (1994), a partir principalmente del contenido micropaleontológico de la roca.

## CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA

### Formación Artemisa

En trabajos de campo realizados conjuntamente con el Dr. J. L. Cobiella durante la década del 90, se pudo caracterizar con cierto detalle la litología componente de la formación y de esta forma distinguir macroscópicamente tres tipos diferentes de calizas.

Se conoce la variabilidad litológica de la Formación Artemisa, constituida por mudstone, wackestone, grainstone, dolostone, rudstone y silicitas. El corte de la formación en los afloramientos observados, está formado mayormente por calizas interestratificadas con lutitas y silicitas. Estas últimas se presentan por lo general, en capas muy finas (milimétricas), con espesores menores de 5 milímetros, aunque pueden alcanzar 10 centímetros y algo más. Aparecen comúnmente en forma de lentes, muchas veces pudo observarse el acúñamiento de las capas, por lo que se podría pensar en estos casos que la silicificación es secundaria (Fig. 1).

Intercaladas entre calizas y silicitas se encuentran lutitas de color negro, con presencia de materia orgánica, en capas de lentes de hasta 10 centímetros de espesor con estratificación laminar, presencia de pequeñas óndulas o pliegues sinsedimentarios en las zonas de las lutitas. El contacto caliza - lutita, en la mayoría de los casos, es transicional existiendo un área de laminación donde se contemplan intercalaciones milimétricas de lutitas y calizas. A la inversa, el contacto por lo general es brusco. Entre las calizas se distinguen tres variedades esenciales:

1- Calizas de estratificación de media a gruesa con cierta laminación horizontal interna y presencia de *Aptychus* en la superficie de los estratos; de colores grises oscuros a negras: son ligeramente fétidas, se presentan en estratos cuyos espesores oscilan entre 5 - 20 centímetros. Las calizas de esta variedad pueden ser desde finas a calcarenitas. Perpendiculares a los estratos, aparecen zonas muy recrystalizadas con manchas abundantes de petróleo grueso. Se aprecia la presencia de óndulas que le da un aspecto contorneado a la capa influyendo por partes, en el grosor de la misma. El techo de las capas repite la forma de la óndula de igual modo que las láminas internas.



2- Calizas de estratificación de media a fina: El espesor de estas rocas es centimétrico (5 cm), con venillas entrecruzadas de calcita, con manchas de bitumen abundante en zonas de recristalización rellenando las venillas y estilolitos.

3- Calizas de estratificación laminar: Los paquetes de rocas con estratificación laminar, alcanzan hasta los 20 centímetros de espesor y ligeramente mayores, en parte algo más arcillosas que las anteriores, presentando *Aptychus* en la superficie y pueden aparecer asociado directamente a las calizas de la variedad 1. La presencia de las óndulas es característica para cualquiera de las tres variedades (Fig. 2).

## Formación Guasasa

### Miembro San Vicente

Está constituido por calizas grises claras hasta negras, con estratificación masiva o en capas gruesas, por lo general carsificadas. En algunas partes están estratificadas y se exponen total o parcialmente dolomitizadas. Pueden tener nódulos y lentes de pedernales oscuros.

En la parte superior del Miembro San Vicente y dentro de los estratos transicionales hacia el Miembro El Americano, existen algunos paquetes de micritas y calcilitas en estratos finos, que pueden indicar una interdigitación de facies de cuenca y de aguas, someras (Linares, E., 2004). Segura-Soto et al (2002), quienes revisaron diferentes mantos del Miembro San Vicente en el Pozo Pinar N°.1 perforado en el Valle de Pons en Pinar del Río, reconocieron ocho paquetes litológicos; los cuatro inferiores son: 1. Wackestone de oolitas y peloides (5 055-5 200 m), que evidencia la secuencia marina somera del paquete que le sucede. Abunda *Favreina salevensis*. 2. Grainstone Packestone / Grainstones y escasos Mudstones calcáreos (4 380-5 055 m), con anhidrita y yeso secundario. Consta además de dolomitas. Abunda *Favreina salevensis*, aparecen abundantes fragmentos de moluscos, gasterópodos, bivalvos y placas de equinodermos. Son rocas de ambiente somero, estratificación masiva que testimonia una alta velocidad de deposición y energía de alta a moderada. 3. Mudstones calcáreos – arcillosos (4 265-4 380 m). Escasos fósiles. La energía disminuye, restricción del medio en condiciones anóxicas. 4. Calizas dolomíticas y dolomitas (4 088-4 265 m). La biota fundamental son *Favreinas* mal conservadas. Ambiente Plataforma Interna, carbonatada, de aguas muy someras. Alta velocidad de sedimentación. Temperaturas tropicales. Ambiente no favorable para materia orgánica. En la parte superior: 5. Mudstone calcáreo – arcilloso (1 870-2 045 m), de ambiente somero bien protegido. 6. Wackestone / Packestone. Grainstones con peloides, intraclastos y bioclastos (1 550-1 870 m). Los fósiles son más abundantes, fundamentalmente *Favreina joukowski*. También es de aguas someras. 7. Mudstones, Wackestones / Packestones con peloides y bioclastos (1 035-1 550 m). Fauna fósil *Favreina joukowski*, energía más baja. 8. Mudstones / Wackestones (875-1 035 m). Velocidad de sedimentación moderada, energía baja, indica una cuenca más abierta. En el trabajo citado, fijan la edad Kimmeridgiano del Miembro San Vicente por *Favreina joukowski* y *Favreina salevensis*. La profundidad del mar oscilaba entre 20-50 metros (aguas someras).



### **Miembro El Americano**

Consta de calizas micríticas dolomitizadas de color gris oscuro a negro, fétidas, laminares, bien estratificadas en capas 20 cm y mayores con intercalaciones de lutitas oscuras. Las lutitas son laminadas y onduladas como las que aparecen en la Formación Artemisa.

Fueron descritos varios cortes de este miembro en la Sierra del Infierno donde se puede observar el contacto entre los Miembros El Americano y Tumbadero.

El límite superior del Miembro El Americano está determinado por la presencia de una primera capa de silicita.

Como resultado del estudio paleontológico de las muestras colectadas en ambos perfiles, se pudo confirmar que el límite Jurásico - Cretácico se encuentra dentro del Miembro El Americano (Pszczółkowski et al., 2005 en prensa). La edad de este miembro en base a los estudios anteriores y precisadas por nuestras muestras tomadas en la Sierra del Infierno se pudo fijar como: Jurásico Superior (Tithoniano Inferior) - Cretácico Inferior (Berriasiano Inferior parte baja).

### **Miembro Tumbadero**

Comprende calizas grises oscuras a pardas grisáceas fétidas, laminadas, con numerosas grietas rellenas de calcita con fractura concoidal y dolomitización en capillas, calizas grises violáceas moteadas y silicificadas con intercalaciones centimétricas de silicitas negras y lutitas de igual color, muchas veces carbonosas, generalmente en capillas muy finas, milimétricas, hasta los primeros centímetros las silicitas también pueden aparecer en forma de nódulos y lentes.

### **Miembro Tumbitas**

Se describen biomicritas grises claras y oscuras, hasta negras, bien estratificadas, en ocasiones bioturbadas (Fernández Carmona, J., 1998), dándole a las rocas un aspecto moteado (Pszczółkowski, A., 1978, 1987). Se diferencia del miembro Tumbadero por la no presencia de pedernales.

## **CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA**

### **Formación Artemisa.**

Wackestone biogénico: Esta es la variedad litológica que más predomina. Las rocas están compuestas mineralógicamente por calcita microcristalina en un 65- 70 %, cuarzo diseminado en 1- 2 %, esporádicos casos de cristales de dolomita de 1- 2 % y abundantes restos fósiles de un 30- 35 %, representados fundamentalmente por radiolarios que ocupan el mayor porcentaje (15 %), calpionélidos, espículas de esponjas, calciferúlidos, pelecípodos pelágicos y en ocasiones *Saccocomas*, distribuidos porcentualmente en este orden. En este tipo de rocas hay presencia de sistemas de grietas de espesor variable (de milimétricas a centimétricas), que cortan las rocas en diferentes direcciones, las cuales están rellenas de calcita esparítica con granos de 0.1- 1 milímetros. También tenemos la frecuente presencia de estilolitos, rellenos por bitumen, los cuales se proyectan en todas direcciones en la roca.

En este tipo de roca, es común la presencia de óndulas y micropliegues posiblemente sinsedimentarios, así como posibles microfallas visibles en las vetas de calcita. Es muy común encontrar en ellas, cierta orientación de los fósiles en el sentido de la laminación, así como posibles cambios litológicos en cuanto a la granulometría de los sedimentos y con ello la disminución de fauna fósil.

Mudstone: El mayor porcentaje de estas rocas está dado por fango calcáreo en un 90- 95 %. El contenido fosilífero es muy pobre, representado fundamentalmente por radiolarios (3- 5 %), en algunos casos calpionélidos (1- 2 %).

Suelen ocurrir en las secciones fragmentos de cuarzo diseminado (1 %) con granos muy pequeños (0.01 mm). Impera en este tipo de roca, la presencia de venillas de calcita que se extienden en diferentes direcciones. También eventualmente se observan casos de estilolitos rellenos de bitumen que la atraviesan en todas direcciones. En los casos de estratificación laminar, las láminas varían sus colores siendo claros u oscuros, lo cual puede ser producto de la existencia en mayor o menor medida de materia orgánica.

Grainstone: Este tipo de roca se caracteriza por el predominio de litoclastos sobre los bioclastos, estos últimos representados fundamentalmente por radiolarios los cuales constituyen un 20- 25 % de estos clastos. Los bioclastos ocupan de un 30- 40 % de la muestra. Los litoclastos están formados por fragmentos de mudstone y wackestone de tamaños hasta 0.4 milímetros. Sus formas son subredondeadas y en grado de abundancia le siguen los fragmentos de cuarzo los cuales ocupan de un 3- 4 % de la roca.

Es importante señalar que en estas rocas suelen aparecer estilolitos rellenos de bitumen, los cuales se proyectan en todas direcciones en la roca.

Pueden ser peloidales dado por la abundante presencia de peletas. Suelen ocurrir estilolitos con bitumen y pirita con escasa fracción limosa de cuarzo. La Pirita ocurre diseminada y materia orgánica se dispersa en los intersticios.

Packstone/Grainstone: Constituidos por intraclastos, bioclastos y peloides difusos, cementados por micrita. Ocurren escasas juntas de disolución rellenas por bitumen y pirita.

Rudstone: Este tipo de roca, está constituida fundamentalmente por clastos de calizas, los cuales tienen tamaños superiores a los 2 milímetros. Los fragmentos están cementados por un material calcáreo muy fino y se aprecia en ellos manifestaciones de fauna fósil que ocupan un 15- 20 % de dichos clastos. Los mismos son de calizas y ocupan un 70- 80 % de la roca; tienen formas angulosas a subangulosas, símbolo de poco transporte. Estas calizas en los rudstone intraclásticos, pueden ser wackestone bioclástico y packstone peloidales con presencia de *Favreina*. La matriz está compuesta por mosaicos de calcita, pero en zonas se observan relictos de la matriz original. Al igual que en otras litologías se observan abundantes estilolitos con bitumen y petróleo en fracturas.

Silicita: Este tipo de roca está constituida fundamentalmente por cuarzo (70- 80 %), dolomita (20- 25 %), calcita en grietas (3 - 4 %) y calcedonia (1 %). Esta composición nos indica que existe un determinado grado de metamorfismo. En las rocas los cristales de cuarzo no están bien delimitados. Al microscopio se observa como una masa cuarzosa, en el caso de la dolomita los cristales romboédricos no sobrepasan los 0.4 milímetros.

Se describe fauna fosilífera, la cual está dada por radiolarios y espículas de esponjas los cuales no son muy visibles. Es bueno señalar, que estas rocas parecen estar dentro de las silicitas organógenas, las cuales deben su origen a la sílice presente en el esqueleto de los radiolarios que la componen.

Dolostone: Este tipo de roca está constituida fundamentalmente por dolomita (60- 70 %) y calcita (30- 40 %). Es muy usual la poca fauna fósil, aunque en determinadas secciones, se pudo identificar la fauna radiolárica. Poseen bajo el microscopio, una estructura de mosaico, con cristales bien formados, regulares, rombohédricos, los cuales tienen dimensiones que varían desde 0.3- 1 milímetros. No resulta ocioso aclarar que estos cristales no presentan zonación.

En el conjunto descrito es común encontrar una coloración oscura, la cual puede ser provocada por la oxidación del hierro contenido en ellas al ponerse en contacto con el aire. También podemos percibir algún material arcilloso, óxido de hierro y algunos fragmentos de calizas y silicitas.

## **Formación Guasasa**

### **Miembro San Vicente**

Packstone de peloides: Abundante impregnación de la materia orgánica, numerosas fracturas ocluidas de calcita que forman redes, la matriz recristalizada. Los peloides se podrían considerar como relictos de la micrita anterior mas cargada de materia orgánica y/o arcilla.

Mudstone calcáreo: Irregularmente recristalizado. Con moldes recristalizados, abundante materia orgánica en capillas y diseminada, abundante pirita diseminada y asociada materia orgánica.

### **Miembro El Americano**

Wackestone/ Packstone bioclástico: Recristalizado, muy teñido por materia orgánica con abundantes venillas de calcita y pirita diseminada. Se observan, juntas de disolución con dolomitización abundante asociadas a las mismas. Esporádicamente ocurren venas de calcita perpendiculares a la estratificación. La materia orgánica a veces se encuentra en parches y capillas largas y cortas. La deposición ocurrió en aguas quietas ambiente cuenca-pie de talud.

Packstone bioclástico: Rocas muy impregnadas por materia orgánica en capillas y juntas de disolución, pirita diseminada y sustituyendo bioclastos. *Saccocomas* abundantes.

### **Miembro Tumbadero**

Mudstone calcáreo: Presentan estilolitos paralelos entre si y ramificados rellenos de bitumen algunos reabiertos y rellenos por calcita a veces irregularmente recristalizados con abundante materia orgánica y pirita escasa, de fracción limosa de cuarzo diseminado. La pirita está diseminada con estilolitos y materia orgánica, existe también pirita de fracción limosa de cuarzo diseminado poco abundante. Contiene materia orgánica diseminada y en capillas.

**Wackestone bioclástico:** Finamente recristalizado muy brechado y sellado por calcita secundaria, abundantes estilolitos dentados con bitumen. Puede estar compactado y muy teñido de materia orgánica con abundante pirita diseminada. Suele también presentarse grumoso con abundantes juntas de disolución con bitumen, abundantes estilolitos abiertos con penetración de calcita.

### **Miembro Tumbitas**

**Mudstone calcáreo:** Bioclastos escasos. Materia orgánica en capillas cortas y en poros. Escasa pirita diseminada, presencia de fracturas finas paralelas entre sí. A veces con presencia de wackestone bioclástico intercalado como producto de aguas intermitentes y agitadas.

## **MICROFACIES**

### **Formación Artemisa**

Del análisis microfacial realizado a parte de los depósitos de la Formación Artemisa, se obtuvo que la mayor cantidad de calizas estudiadas, pueden corresponderse con la microfacies 3 establecida por Wilson, J. L. (1975). Existen en menor cuantía otras microfacies que aparecen intercaladas con la mencionada anteriormente.

En el techo de la formación, hay un predominio absoluto de la microfacies 3 compuesta por wackestone biogénicos, mudstone y calizas dolomitizadas con las siguientes características: En los wackestone biogénicos, hay presencia de laminación la cual en muchas muestras es horizontal con variaciones de coloración (claras y oscuras) así como microfallas y estilolitos en diferentes direcciones. Impera la fauna fósil radiolaria predominando las formas espumeláricas. En algunos casos, estos fósiles tienden a orientarse paralelos a la laminación interna, en variadas ocasiones la concentración es alterna acumulándose la mayor parte de ellos en láminas más oscuras. Asociados a los radiolarios aparecen *Saccocoma*, calpionélidos, espículas de esponjas, pelecípodos pelágicos y calcisferas. En los mudstone y calizas dolomitizadas, los rasgos son muy similares a los predominantes del wackestone biogénico. Es notable en ellos la ausencia de fósiles.

Sin embargo, en la parte alta, aparecen intercaladas de forma esporádica rocas de la microfacies 4. Los depósitos de rocas de la microfacies 4 de Wilson, J. L. (1975), se encuentran representados en la Formación Artemisa por rudstone y grainstone de granos medios a gruesos, en ellos los litoclastos predominan sobre los bioclastos y están constituidos en primer lugar por calizas, aunque también existen en menor proporción fragmentos de cuarzo y silicita en un cemento calcáreo, así como intercalación de mudstone entre otros. Se ha detectado la existencia de pliegues sinsedimentarios principalmente en los grainstone.

En la parte media de la formación también predomina la microfacies 3, aunque es singular, que se caracteriza por la existencia de rudstone con clastos bien definidos de tipo microfacies 4 (Wilson, J. L. 1975) y que sobreyace a grainstone de grano fino característico de microfacies 2. Probablemente ambos sedimentos se hayan originado en un ambiente de talud. Como rocas del tipo microfacies 2, fueron considerados grainstone de granos finos. Uno de los elementos que nos permitió clasificarlos como pertenecientes a este tipo de microfacies, es la frecuente presencia de estratificación fina tipo óndulas. La

fauna fósil es muy escasa, con presencia eventual de algunos radiolarios mayormente espumeláridos.

Para la parte baja y base de la formación, aunque la cantidad de muestra no es suficiente todavía para dar una conclusión definitiva, se observó cierto predominio de microfacies 3. Se debe significar la presencia de rocas con oolitos, peletas y biofacies características de facies someras en ambos casos indicando sedimentación en aguas poco profundas. Aparecen también como redepósito, mezclado con elementos de aguas mas profundas evidenciando una deposición al pie del talud. Como muestra de esto último, en esta parte del corte, se han descrito wackestone oolíticos con *Saccocomas*, algas, fragmentos de moluscos miliólidos y otros foraminíferos pequeños de ambientes de plataforma.

En los pozos Cayajabos N0.3, Blanco, S. y otros (2002), definieron una secuencia transgresiva con deposición típica de una plataforma de aguas someras (facies 8 Wilson J. L., 1975), representada por mudstones calcáreo con escaso ejemplares de *Globochaete alpina*, *Didemnoides moreti* y fragmentos de braquiópodos y/o ostrácodos, también vista por los autores del presente trabajo en superficie.

En el área de Bermejales fue muestreada una brecha sedimentaria (Sosa Meizoso, C. 2004), constituida por clastos de diferentes facies( fragmento con *Favreina* spp., fragmento con *Favreina* sp. y calpionélidos muy recristalizados: *Calpionellidae*, *Calpionella* cf. *C. alpina*, *Calpionella* sp., Radiolarios, fragmento con *Calpionellidae*, *Calpionella alpina*, *Calpionella* cf. *C. elliptica*?, Radiolarios y *Saccoccoma* sp. La presencia de un clasto con facies someras conteniendo *Favreina* es un indicador mas de la existencia de esta facies en los depósitos de la Fm. Artemisa en la Sierra del Rosario.

## OTRAS CONSIDERACIONES MICROFACIALES

Myzycynski, R. y Pszczólkowski, A. (1994), partiendo del contenido fundamentalmente micropaleontológico presente en los sedimentos de la Formación Artemisa, establecieron 5 microfacies para la parte baja de esta unidad, correlacionándola con otros sedimentos de igual edad en la Sierra de los Órganos.

A partir del análisis micropaleontológico realizado, se extrapolan estas microfacies para el Tithoniano de la Formación Artemisa, para las secuencias más altas de la citada unidad, pudiéndose distinguir tres microfacies fundamentales:

**Microfacies radiolárica:** Es la más común de las microfacies y se observa en cualquiera de las secciones de la Formación Artemisa. Está determinada por la presencia abundante de moldes de radiolarios, muchas veces recristalizados, de las formas *Nassellaria* y *Spumellaria*.

En algunas determinaciones paleontológicas de la parte alta y techo de la formación, se reportan la presencia de *Tintinopsella longa*, *Tintinopsella carpathica*, *Calpionella alpina*, *Calpionella* cf. *Calpionella elliptica*, Calpionelidos calcáreos recristalizados, *Nannoconus*, Calcisferas (principalmente de la Familia *Stomiosphaeridae*), cámaras embrionarias de Ammonites, y otros, indicando una edad Jurásico Superior Tithoniano Superior- Cretácico Inferior Berriasiano o con más precisión **Cretácico Inferior Berriasiano**.

Otras determinaciones paleontológicas de la parte media a alta de la unidad, confirman la asociación de los radiolarios con espículas de esponjas del tipo *Didemnoides*, *Cadosina*

sp. y *Saccocoma*, para una posible edad de Jurásico Superior Kimmeridgiano al Tithoniano.

Esta microfacies la podemos distinguir en la parte alta y techo de la Formación Artemisa.

Microfacies Saccocoma: Se encuentra en menor cuantía que la radiolárica, asociada fundamentalmente a rocas de tipo wackestone biogénico. Esta microfacies está determinada por la presencia abundante de *Saccocoma* ya sean enteros o en fragmentos de forma tabular.

Como microfósiles acompañantes son reportados: moldes recristalizados de radiolarios (formas *Spumellaria* y *Nassellaria*), Calpionélidos también recristalizados, *Cadosina* spp., *Colomisphaera* sp., *Didemnoidea moretti*, conchas juveniles de bivalvos planctónicos, fragmentos fosilizados de peces, fragmentos de *Aptychus* y cámaras embrionarias de Amonites.

Microfacies Calcisphaera: La litología más representativa de esta microfacies es el grainstone, aunque también puede estar representada en los wackestone biogénicos.

Los ejemplares encontrados son perteneciente a la familia *Calcisphaerulidae* y *Stomiosphaeridae* (*Colomisphaera carpathica* y *Stomiosphaerina proxima*), relacionados con moldes de radiolarios y calpionélidos calcáreos mayormente recristalizados.

Al igual que en la microfacies radiolárica, es muy posible que la microfacies en cuestión, se desarrolle tanto en el Tithoniano como en la parte más alta de esta unidad. En este último caso, con una edad del Jurásico Superior Tithoniano Superior al Cretácico Inferior Berriasiano o exclusivamente al Berriasiano.

#### Microfacies con Calpionélidos:

A. Pszczółkowski et. al (1987), al hablar de los sedimentos pelágicos del Berriasiano al Valanginiano de la Sierra de los Organos, manifiesta que los depósitos del Berriasiano a la parte más baja del Valanginiano están dominados por microfacies con Tintínidos, mientras que microfacies como las de Radiolarios con Tintínidos son menos comunes, y que las calizas del Valanginiano están dominadas por microfacies con Tintínidos y con Tintínidos con *Nannoconus*, al mismo tiempo considera que las microfacies con radiolarios han sido dominantes en la Sierra del Rosario en estas edades.

Como resultado del estudio micropaleontológico a partir de secciones delgadas del techo de la Formación Artemisa, se pudo comprobar la presencia notable de Calpionélidos en número cada vez mayor a medida que se avanza hacia el tope de la formación. Por tanto, su presencia generalmente abundante, está vinculada a depósitos de edad Berriasiano y Valanginiano, en ocasiones acompañados por *Nannoconus*, por lo que consideramos que podemos definir una microfacies con Calpionélidos en estos depósitos de la Sierra del Rosario.

Por el estudio microfacial permitió denotar que, aunque es habitual la ocurrencia de calpionélidos calcáreos recristalizados en la microfacies radiolárica en distintas calizas, ellos se encuentran en una cantidad superior comparados con otras, discutiéndole su predominio a los radiolarios, pudiendo estar estos últimos prácticamente ausentes.



Según las determinaciones realizadas, la presencia de *Calpionella alpina*, *Tintinopsella longa*, *C. elliptica*, *Tintinopsella carpathica*, *Crassicollaria* sp., *Nannoconus steinmanni* y *Nannoconus globulus*, son propios de la zona de *Calpionella* y señalan una posible edad Cretácico Inferior Berriasiano, pudiendo bajar al Jurásico Superior Tithoniano Superior en algunos casos.

Resumiendo, las microfacies radioláricas y con calcisphaeras se desarrollan tanto en el Tithoniano como en los depósitos más altos de la Formación Artemisa. La microfacies con *Saccocoma* es propia más bien de la secuencia media a alta de esta unidad (Myczynski, R. y Pszczółkowski, A., 1994) y la microfacies con calpionélidos posiblemente pertenezca a la tope de la misma. La menos abundante en los depósitos estudiados, es la microfacies con calcisphaeras; formando intercalaciones entre las microfacies radioláricas y en las microfacies con calpionélidos.

### Formación Guasasa

Las microfacies del Miembro San Vicente aparecen bien descritas en el acápite de antecedentes según estudios realizados por Segura Soto, R. et al (2002) y comparables con la facies 8 de Wilson, plataforma restringida. En ella abundan las microfacies con *Favreina*.

Con relación al Miembro El Americano suprayacente, la microfacies con *Saccocoma* está presente en el Tithoniano al igual que en la Formación Artemisa.

Según Pszczółkowski et al. (2005 en prensa), en las calizas de la parte más alta del Miembro El Americano y la parte inferior del Miembro Tumbadero, se desarrollan microfacies con Calpionélidos a veces con *Globochaete alpina* subordinada; microfacies con *Globochaete* con calpionélidos ocasionales y microfacies radioláricas con o sin calpionélidos. Las microfacies radioláricas y radioláricas con calpionélidos, son importantes en las calizas de la parte mas alta del Miembro El Americano. Según los citados autores, también estas microfacies predominan en las calizas de la parte inferior del Miembro Tumbadero. También observan como un rasgo característico de las calizas del Tithoniano al Berriasiano Inferior, la presencia recurrente de microfacies *Globochaete alpina*- calpionélidos. En la parte superior del Miembro Tumbadero, predomina la microfacies con Calpionélidos (Fernández J., 1998). Al igual que muchos de los depósitos de la Formación Artemisa, estas microfacies pueden ser ubicadas en las microfacies standard tipo 3 (Pszczółkowski et al., 2005 en prensa) dentro de los cinturones faciales 1 y 2.

### DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como consecuencia del estudio realizado y coincidiendo en determinados aspectos con investigadores anteriores, (Judoley, K. y Furrzola, G., 1968; Pszczółkowski, A., 1978, 1987; Chang J.C., 1991, Myczynski, R. y Pszczółkowski, A., 1994) se confirma en la Formación Artemisa tres facies fundamentales: facies de cuencas y condiciones neríticas de mares abiertos, facies de talud y facies con elementos de aguas someras.

Facies de cuencas y condiciones neríticas de mares abiertos: Es la más común y con la cual prácticamente se ha caracterizado la formación, es una facies con abundantes microorganismos pelágicos. Son sedimentos con abundantes radiolarios más bien en moldes recristalizados, calpionélidos, microfósiles de *Incerta sedis*, como *Stomiosphaeridae* y conchas de Ammonites, *Aptychus* y fragmentos de peces, reportados

por diversos investigadores a lo largo de toda la historia de la Formación Artemisa. Las microfacies diferenciadas en ellos responden a este contenido paleontológico y al comportamiento del mismo teniendo en cuenta el medio de deposición y edad de los sedimentos. Esta facies puede ser identificada con la de los miembros El Americano Tumbadero y Tumbitas.

La presencia de *Saccocoma* en la base del corte es indicador de condiciones neríticas de mares abiertos, el predominio en general de conchas y testas de organismos planctónicos y nectónicos pelágicos, la estratificación milimétrica, cruzada, la laminación fina horizontal, la presencia de óndulas, la abundancia de wackestone bioclástico, las intercalaciones de argilitas y pedernales, el color oscuro de las rocas, la abundancia de materia orgánica, permiten establecer una correspondencia entre estos depósitos y las secuencias propias de los cinturones faciales 1 y 2 (Wilson, J. L., 1975).

Facies de Talud: Esta facies está menos distribuida que la anterior y puede observarse por ejemplo: en áreas aledañas al Mirador de Soroa (Chang, J. C. en Martínez, D. et. al 1991) y en general en las cercanías del centro turístico ubicado en esta localidad. Consiste de sedimentos brechosos calcáreos, con clastos bien definidos y algunos intraclastos. Estas brechas calcáreas o rudstone están entremezclados con grainstone, wackestone y mudstone que pueden presentar microfallas y micropliegues sinsedimentarios.

La mezcla de sedimentos de grano fino con estructura de deslizamiento gravitacional y sedimentos fragmentarios (rudstone, grainstone y packstone) permiten corresponder estas secuencias con las propias de los cinturones faciales 3 y 4 de Wilson.

Facies con elementos de aguas someras: Está dada por la presencia de grainstone contenedores de oolitos, peletas, fragmentos de moluscos y foraminíferos bentónicos a veces interestratificados con sedimentos de una biofacies pelágica. Sedimentos de este tipo se han mencionado en investigaciones anteriores, pero es necesario precisar el carácter redepositado o no de los elementos que lo componen. En el primero de los casos, la presencia de detritos bioclásticos derivada probablemente de la parte superior de la pendiente, determinarían entonces la zona de acumulación al pie del talud. Tanto la facies anterior como esta, evidencia la presencia de depósitos tipo San Vicente en Sierra del Rosario.

## CONCLUSIONES

1- A partir de los criterios de J. Wilson, 1975 para la clasificación de los sedimentos carbonatados y del estudio de las microfacies, se confirma la existencia de 3 tipos de facies en la formación Artemisa: facies de cuencas y condiciones neríticas de mares abiertos. Esta facies puede ser identificada con la de los miembros El Americano Tumbadero y Tumbitas de la Formación Guasasa; facies de talud; facies con elementos de aguas someras propios de sedimentos plataforma interna, los cuales también pueden aparecer redepositados indicando entonces una deposición al pie del talud. Las dos últimas facies se corresponden con los depósitos del Miembro San Vicente de la Formación Guasasa.

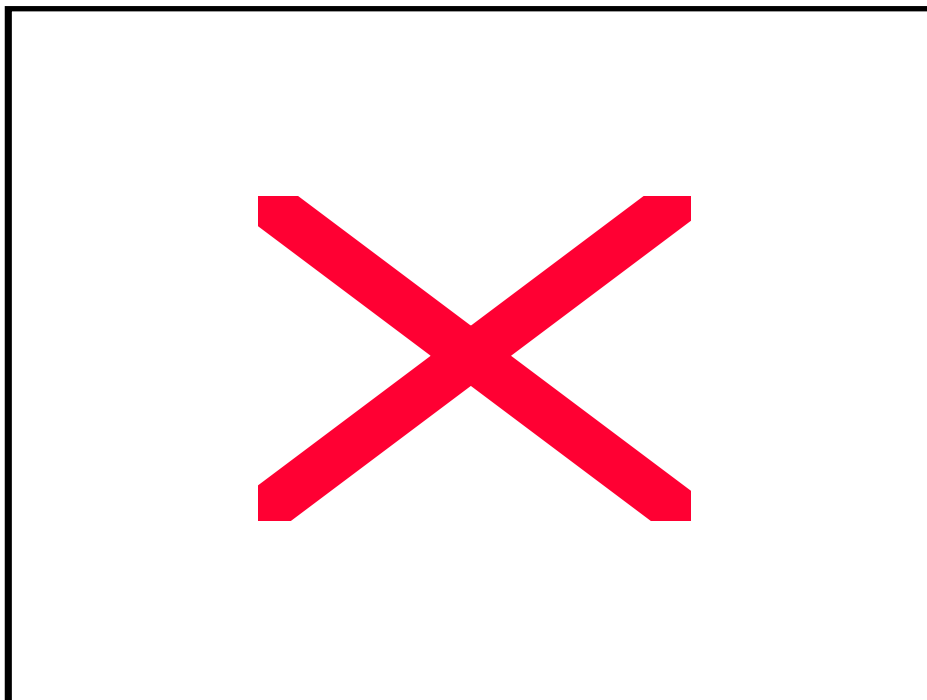
2- Se diferencian en la parte más alta de la formación, dos de las cinco microfacies definidas por Myczynski, R. y Pszczółkowski, A. en 1994 para la secuencia tithoniana de la Formación Artemisa estas son: microfacies radiolarica y microfacies con *Calcisphaera*.

Esta última de presencia muy esporádica y la primera muy abundante, como ocurre en las calizas de la parte más alta del Miembro El Americano y parte inferior del Miembro Tumbadero (Pszczółkowski, A. et al. 2005 en prensa).

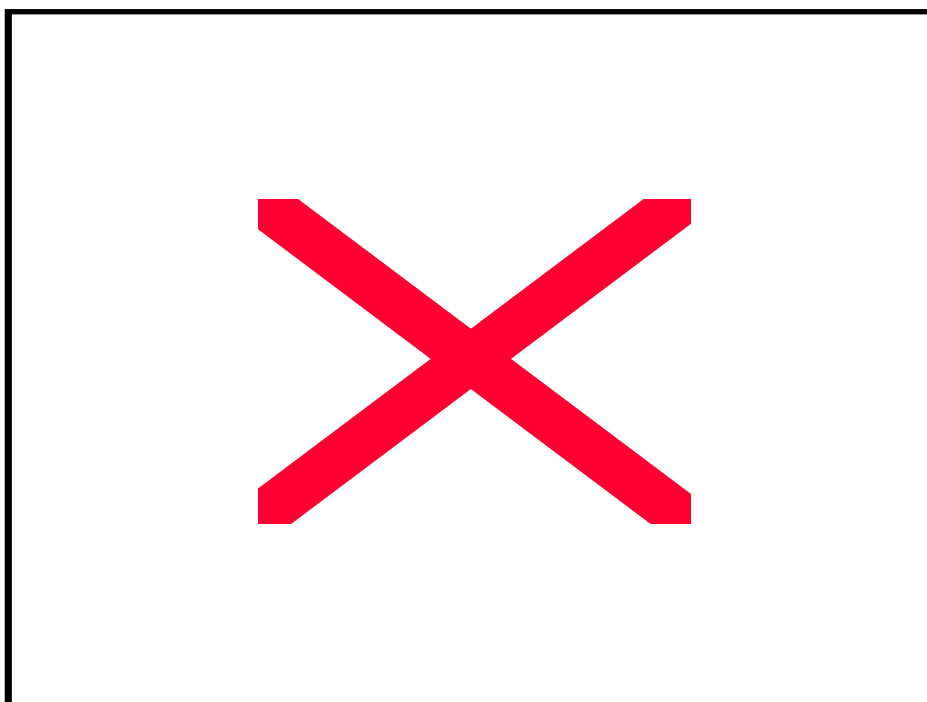
3- Se distingue una microfacies para la parte alta de la Fm Artemisa, denominada microfacies con calpionélidos, de sedimentos de edad Jurasico Superior Tithoniano-Cretácico Inferior Berriasiano, posiblemente hasta el Valanginiano, semejante a la descrita para la parte superior del miembro Tumbadero (Fernández Carmona, J., 1998).

## BIBLIOGRAFIA

- Blanco, S.; J. Sánchez Arango; R. Segura Soto; D. Brey del Rey; B. Villavicencio, 2002. Reservorios de la Provincia de Pinar del Río, UTE Sierra del Rosario. Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET), La Habana: 126 p.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W. E. (Ed.). Classification of carbonate rocks – a symposium. Am. Ass. Pet. Geol. Mem. I: 108-121.
- Embry, A. F. and J. E. Klován, 1971. A late Devonian reef tract of northeastern banks Island N. W. Territories. Bull. Can. Petrol. Geol., 19, 730-781
- Fernández – Carmona, J., 1998. Bioestratigrafía del Jurásico Superior – Cretácico Inferior Neocomiano de Cuba Occidental y su aplicación en la exploración petrolera. Tesis Doctoral, La Habana: 90 p.
- Judoley, C. M. y G. Furrázola, 1968. Estratigrafía y fauna del Jurásico de Cuba. Instituto Cubano de Recursos Minerales, La Habana: 126 p.
- Linares, E., 2003. Comparación entre las secuencias mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba Central y Occidental. Significado para la exploración petrolera. Tesis Doctoral, CEINPET, La Habana: 133 p.
- Martínez, D., R. Fernández; R. Peláez; M. Vázquez; E. Barrios; A. Valido; R. Reinoso; J. C. Chang; O. Fernández; R. Denis; L. Gómez; D. García; S. Gil; D. Pérez; R. Reyes; M. Valdivia; R. Núñez; R. Pérez; J. Langs, 1991. Informe sobre los Resultados del Levantamiento Geológico y Prospección Preliminar a escala 1:50 000 Pinar – Habana: O.N.R.M. – MINBAS, La Habana (Inédito).
- Myczynski, R., 1989. Ammonite biostratigraphy of the tithonian of Western Cuba. Annales Societatis Geologorum Poloniae, 59: 1-119.
- Myczynski, R. y A. Pszczółkowski, 1994. Tithonian stratigraphy and microfacies in the Sierra del Rosario, Western Cuba. Studia Geologica Polonica, 105: 7-35.
- Pszczółkowski, A., 1978. Geosinclinal sequences of the Cordillera de Guaniguanico in Western Cuba, their lithostratigraphy, facies development and paleogeography. Acta Geológica Polonica, 28(1): 1-96.
- Pszczółkowski, A. y otros, 1987. Secuencias miogeosinclinales de la cordillera de Guaniguanico. Litoestratigrafía, desarrollo de facies y paleogeografía en Pszczółkowski, A. (ed.): Contribución a la Geología de la Provincia de Pinar del Río. Editorial Científico Técnica, La Habana: 253 p.
- Pszczółkowski, A.; D. García Delgado; S. Gil González, 2005. Calpionellid and nannoconid stratigraphy and microfacies of limestones at Tithonian-Berriasian boundary in the Sierra del Rosario. Annales Societatis Geologorum Poloniae, 75 ( en prensa).
- Sartorio, D. y S. Venturini, 1988. Southern Tethys Biofacies. AGIP S. p. A, S. Donato Milanese.
- Segura Soto, R.; R. García Sánchez; M. Pendás Amador; M. Rodríguez Viera; J. Guillermo López, 2002. Reservorios de la Provincia de Pinar del Río, UTE Sierra de los Organos. Centro de Investigaciones del Petróleo, La Habana: 55 p.
- Wilson, J. L., 1975. Carbonate facies in geologic history. Springer-Vorleg, Berlin-Heldelbergh-New York: 471p.



**Figura 1. Lente de silicitas dentro de la calizas. Sierra del Infierno Pinar del Río**



**Figura 2. Calizas de estratificación media a fina. Cinco Pesos, Pinar del Río**

## VARIACIONES DE LITOFACIES Y BIOESTRATIGRAFÍA DE AMMONITES EN LA TRANSICIÓN BARREMIANO-APTIANO DEL NORESTE DE MÉXICO

Ricardo Barragán-Manzo (1), Consuelo Díaz-Otero (2), José Fernández-Carmona (3)

(1) *Instituto de Geología, UNAM, México,*

(2) *Instituto de Geología y Paleontología, Cuba,*

(3) *Centro de Investigaciones del Petróleo, Cuba*

En el Noreste de México (Estados de Nuevo León y Durango), rocas de plataforma carbonatada de la Formación Cupido del Barremiano-Aptiano inferior basal, se encuentran sobreyacidas por la Formación La Peña, unidad sedimentaria transgresiva dominada por calizas, margocalizas, margas y lutitas con abundantes ammonites. Esta unidad transgresiva aflora ampliamente en el NE de México y ha sido interpretada de edad Aptiano tardío con base en el registro de ammonites. Sin embargo, la edad exacta de esta unidad litoestratigráfica del Aptiano de México sigue siendo una cuestión de debate dado que la mayoría de la fauna publicada carece de control estratigráfico preciso impidiendo el reconocimiento de biozonas estándar, y consecuentemente correlaciones intra e intercontinentales. Recientemente, se han estudiado a detalle dos secciones estratigráficas de la transición formacional Cupido-La Peña en Durango y Nuevo León en el NE de México. Análisis detallados de la sucesión de microfacies aportaron resultados adicionales a la interpretación paleoecológica y micro- y macropaleontológica de la transición Barremiano-Aptiano en el área. El techo de la Formación Cupido se caracteriza por una alternancia de wackestones, grainstones y packstones, típicos de sedimentación carbonatada de plataforma somera y contiene abundantes foraminíferos bentónicos de las familias Ataxophragmiidae, Lituolidae, Textularidae, Orbitolinidae, Nezzazatidae y Miliolidae. Sobreyaciendo a estas facies, la Formación La Peña está caracterizada por una sucesión de mudstones fosilíferos con abundantes foraminíferos planctónicos, radiolarios y fragmentos de moluscos. Estas facies son típicas de ambientes pelágicos de plataforma externa y tienden a indicar una mayor paleobatimetría conforme aumenta la potencia de la formación. El reconocimiento de asociaciones de ammonites índice desde la base hasta la cima de la Formación La Peña, ha posibilitado a su vez el reconocimiento de biozonas estándar previamente establecidas para áreas del Tethys. De este modo, se puede decir que el cambio de sedimentación de plataforma carbonatada somera típica de la Formación Cupido, a una de plataforma abierta a través de un proceso transgresivo registrado en la Formación La Peña, ocurrió a finales del Aptiano temprano, evento correlacionable con la Zona estándar de ammonite *Dufrenoyia furcata*. La sedimentación de la Formación La Peña continuó a través del resto del Aptiano y es correlacionable con el período comprendido entre las Zonas de ammonites *Epicheloniceras subnodosocostatum* de inicios del Aptiano medio y *Hypacanthoplites jacobi* que marca el término del Aptiano.



## UPPER MAASTRICHTIAN – EARLY DANIAN *SPIROPLECTAMMINA* ACME AS BIOLOGICAL PROXIES OF PALEOENVIRONMENTAL STRESS

Alberto Venturati

Centro di Ricerca di Micropaleontologia Ambientale, 61100 Pesaro (Italy). E-mail:  
crma\_ps@libero.it

In order to explore the worldwide effects of the mid-Maastrichtian Event (MME), of the Cretaceous/Tertiary Boundary Event (KTBE), and the response of deep-water agglutinated foraminifera assemblages to the Livello Mazzini, their abundance and distribution was analyzed in detail from the pelagic limestones of the well-noted Bottaccione section (Gubbio, central Italy).

The MME records, at 69 Ma, the abrupt change of deep waters from low to high latitudes. Enhanced production of cold, oxygen-rich deep waters could have triggered the extinction of the cosmopolitan, long-ranging epifaunal inoceramid bivalves which took place diachronically between 69.7 and 68.9 Ma (e.g. Chauris et al., 1998).

On the other hand, the KTBE marks one of the largest mass extinction events in the Phanerozoic. Most researchers accept that at the time of the mass extinction a large meteorite impacted the Yucatan Peninsula in Mexico, creating the Chicxulub crater (e.g. Alvarez et al., 1980; Hildebrand et al., 1991).

While, the Livello Mazzini is an expression of a biotite-rich sedimentation event that falls in the basal part of the C29N (early Paleocene), occurring in the Gubbio area only (Venturati, *in prep.*).

The characteristic bathyal communities include forms of purely agglutinated 'flysch-type' assemblages and elements which are typical of Upper Cretaceous abyssal environments of the North Atlantic (Kuhnt, 1990; Coccioni et al., 1995).

All these paleoenvironmental perturbations did not lead to extinction of any species. However, major faunal changes in agglutinated foraminiferal assemblages composition consist of a increase in abundance of infaunal, low-oxygen tolerant species, with pointed and elongated test morphology. In particular, sudden and remarkable blooms of specimens belonging to the opportunist genus *Spiroplectammina* (*S. dentata*, *S. israelskyi*, *S. laevis* and *S. spectabilis*), characterized these unfavourable bottom-water conditions with several acme.

This study testify that the *Spiroplectammina* plexus flourished during times of extreme paleoenvironmental stress and may be used as a proxy for instability of Cretaceous-Paleogene local and worldwide marine paleoenvironments.

### References

- Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F., Michel, H.V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 208, 1195-1208.
- Chauris, H., LeRousseau, J., Beaudoin, B., Propson, S., Montanari, A., 1998. Inoceramid extinction in the Gubbio basin (northeastern Apennines of Italy) and relations with mid-Maastrichtian environmental changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 139, 177-193.
- Coccioni, R., Galeotti, S., Gravili, M., 1995. Latest Albian early Turonian deep-water agglutinated foraminifera in the Bottaccione section (Gubbio, Italy) - Biostratigraphic and palaeoecology implications. *Revista Espanola de Paleontologia*, n. Homenaje Al Dr. Guillermo Colom, 135-152.
- Hildebrand, A.R., Penfield, G.T., Kring, D.A., Pilkington, M., Camargo, Z.A., Jacobsen, S.B., Boynton, W.V., 1991. Chicxulub crater: A possible Cretaceous-Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology*, 19, 867-871.
- Kuhnt, W., 1990. Agglutinated foraminifera of western Mediterranean Upper Cretaceous pelagic limestones (Umbrian Apennines, Italy, and Betic Cordillera, Southern Spain). *Micropaleontology*, 36, 297-330.
- Venturati, A., *in prep.* Survival under stress: a case study of the deep water agglutinated foraminifera response to an early Paleocene biotite-rich sedimentation event of the Gubbio area.

**READING EXTREME PALEOENVIRONMENTAL PERTURBATIONS FROM CRETACEOUS PLANKTONIC FORAMINIFERA: MORPHOLOGICAL CHANGES AND TEST ABNORMALITIES IN THE *ROTALIPORA CUSHMANI* POPULATION CLOSE TO THE BONARELLI EVENT OF THE BOTTACCIONE SECTION (CENTRAL ITALY)**

Alberto Venturati

*Centro di Ricerca di Micropaleontologia Ambientale, 61100 Pesaro (Italy). E-mail: crma\_ps@libero.it*

Foraminifera are recently used as bioindicators of environments. In fact the foraminiferal tests can record through time evidence of environmental stresses of natural and/or anthropogenic origin.

A high resolution quantitative investigation was carried out on the *Rotalipora cushmani* population from the Scaglia Bianca Formation which underlie the Bonarelli Level (BL) in the deep bathyal Bottaccione section (Gubbio). This research is focused on the 313kyr preceding the deposition of the BL which spans 300-500kyr and is the well-know sedimentary record of the latest Cenomanian Oceanic Anoxic Event 2 (OAE2).

The concentration of several trace elements, total organic carbon content and stable isotopes was also determined for evaluating a possible relationship among geochemical anomalies, morphological changes and the number and type of abnormal specimens.

The most remarkable, dramatic changes in planktonic foraminiferal assemblages occur within the Lower Critical Interval (LCI) (see Coccioni et al., 1991) which spans the last 55kyr of the studied interval. The onset of a high stress environment is clearly testified by a distinct but unstable planktonic foraminiferal structure, characterized by low species diversity and by marked foraminiferal changes and events. These changes and events indicate an increased surface productivity, enhanced oxygen minimum zone, and marked rapid changes of ecological parameters. Throughout the surveyed interval, I was able to distinguish four distinct morphotypes on the basis of the number of chambers in the last whorl, the size of the specimens, the thickness of the keel, and the extent of the dorsal ridges. The morphotypes characterized by very thick keel, strongly developed dorsal ridges, and large final chambers displays a positive preference for the new environmental conditions established within the LCI where, conversely, the morphotypes provided with numerous chambers in the last whorl shows a high level of environmental intolerance.

The analysis of coiling direction preference shows that below the LCI the coiling direction was slightly biased towards a dextral preference and the coiling fairly stable. Differently, within the LCI the *R. cushmani* developed a random coiling and the coiling ratio fluctuated widely.

Throughout the investigated interval, the development of test abnormalities is a frequent feature within the *R. cushmani* population. Four different modes of abnormality in test morphology have been recognized. The percentage of teratological tests shows a mean value of about 6%. Higher proportions (up to 14%) of abnormal tests are found within the LCI where major fluctuations are also observed.

Whatever the environmental parameters involved and the mineralization mechanism that produce abnormalities, this study supports the feasibility of using morphological changes and test abnormalities in planktonic foraminiferal fossil populations for the understanding of marine paleoenvironmental changes and of different degree and extent of paleoenvironmental changes and of different degree and extent of paleoenvironmental stress in surface waters.

**References**

- Coccioni, R., Erba, E., & Premoli Silva, I. (1991). Litho- and biostratigraphy of the Livello Bonarelli close to the Cenomanian/Turonian boundary (Umbria-Marche Apennines, Italy) and possible paleoceanographic significance. Colloque International sur les Événements de la limite Cénomanien-Turonien, Grenoble, 24-26 Mai 1991. Géologie Alpine, Mémoire H.S., 17, 25-26

## THE CASE STUDY OF THE GLOBULAR CHAMBERED GENUS *GORBACHIKELLA*: LINKS TO PALEOENVIRONMENTAL PERTURBATIONS INDUCED BY EARLY CRETACEOUS OCEANIC ANOXIC EVENTS

Alberto Venturati

Centro di Ricerca di Micropaleontologia Ambientale, 61100 Pesaro (Italy). E-mail:  
crma\_ps@libero.it

The chamber elongation of the Early to early Late Cretaceous planktonic foraminifera has been recently interpreted as an adaptive response to oxygen depletion in the upper water column. In fact, the acquisition of high surface area-to-volume ratio is regarded as the simplest way to improve gas exchange with sea water and to take in sufficient amounts of oxygen for the metabolic needs. For this reason planktonic foraminifera with radially elongated chambers are commonly used as tracer of paleoenvironmental stress (e.g., BouDagher-Fadel et al., 1997, Magniez-Jannin, 1998, Premoli Silva et al., 1999, Bellanca et al., 2002, Coccioni and Luciani, 2004).

On the other hand, planktonic foraminifera with globular-subglobular chambers are considered to live in oligotrophic and well-oxygenated waters (BouDagher-Fadel et al., 1997).

The aim of this research is to support the feasibility of the globular chambered genus *Gorbachikella*, as a possible biological proxy of early Cretaceous worldwide oceanic anoxic/dysoxic events.

On the basis of available micropaleontological analyses (e.g., Cecca et al., 1996; BouDagher-Fadel et al., 1997; Coccioni et al., 1998; Aguado et al., 1999, Baudin et al., 1999; Erba et al., 1999; Bellanca et al., 2002; Luciani et al., 2002; Venturati, 2003; Erba et al., 2004), it is possible to identify three remarkable extreme worldwide paleoenvironmental events, that led the occurrence and the flourishing of specimens belonging to the genus *Gorbachikella* during the early Cretaceous.

- The Valanginian Weissert OAE: first appeared three new planktonic species belonging to the genus *Gorbachikella* during the onset of this global perturbation.
- The Faraoni Level and its equivalents: during the deposition of this supraregional guide-bed level the genus *Gorbachikella* was dominant reaching an acme.
- The Selli Level and its equivalents: just prior and during the deposition of the OAE1a the genus *Gorbachikella* was dominant again.

However, it is possible suppose that the genus *Gorbachikella* was opportunist, low-oxygen tolerant, and able to flourish during periods of high/extreme paleoenvironmental perturbation. Most likely an interplay of several influential factors (e.g., nutrients, dissolved oxygen concentration, temperature, salinity, trace elements, etc.) were responsible for sudden acme.

### References

- Aguado, R., Castro, J.M., Company, M. & de Gea, G.A., 1999. Aptian-bio-events - an integrated biostratigraphic analysis of the Almadich Formation, Inner Prebetic Domain, SE Spain. *Cretaceous Research*, 20: 663-683
- Baudin, F., Bulot, L.G., Cecca, F., Coccioni, R., Gardin, S. & Renard, M. 1999. Un équivalent du "Niveau Faraoni" dans le Bassin du Sud-Est de la France, indice possible d'un événement anoxique fini-hauterivien étendu à la Téthys méditerranéenne. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 170: 487-498
- Bellanca, A., Erba, E., Neri, R., Premoli Silva, I., Sprovieri, M., Tremolada, F. & Verga, D., 2002. Palaeoceanographic significance of the Tethyan "Livello Selli" (early Aptian) from the Hybla Formation, northwestern Sicily; biostratigraphy and high-resolution chemostratigraphic records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 185: 175-196
- BouDagher-Fadel, M.K., Banner, F.T. & Whittaker, J.E., 1997. *The Early Evolutionary History of Planktonic Foraminifera*. Chapman & Hall, England, 1-269
- Coccioni, R., Baudin, F., Cecca, F., Chiari, M., Galeotti, S., Gardin, S. & Salvini, G., 1998. Integrated stratigraphic, palaeontological, and geochemical analysis of the uppermost Hauterivian Faraoni Level in the Fiume Bosso section, Umbria-Marche Apennines, Italy. *Cretaceous Research*, 19: 1-23

- Coccioni, R. & Luciani, V., 2004. Planktonic foraminifera and environmental changes across the Bonarelli event (OAE2, latest Cenomanian) in its type: a high-resolution study from the Tethyan reference Bottaccione section (Gubbio, central Italy). *Journal of Foraminiferal Research*, 34.
- Cecca, F., Galeotti, S., Coccioni, R. & Erba, E., 1996. The equivalent of the 'Faraoni Level' (uppermost Hauterivian, Lower Cretaceous) recorded in the eastern part of Trento Plateau (Venetian Southern Alps, Italy). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 102: 417-424
- Erba, E., Channel, J.E.T., Claps, M., Jones, C., Larson, R., Opdyke, B., Premoli Silva, I., Riva, A., Salvini, G. & Torricelli, S., 1999. Integrated stratigraphy of the Cismon Apticore (Southern Alps, Italy): a "reference section" for the Barremian-Aptian interval at low latitudes. *Journal of Foraminiferal Research*, 29: 371-391
- Erba, E., Bartolini, A., & Larson, R., 2004. Valanginian Weissert oceanic anoxic event. *Geology*. 32: 149-152
- Luciani, V., Cobianchi, M. & Jenkyns, H.C., 2002. Geochemical and micropaleontological response to Lower Cretaceous anoxic events in the Gargano Promontory succession (southern Italy). Organic-carbon burial, climate change and ocean chemistry (Mesozoic-Paleogene), 9-11<sup>th</sup> December London. Volume of Abstracts, 33
- Magniez-Jannin, F. 1998. L'élongation des loges chez les foraminifères planctoniques du Crétacé inférieur: une adaptation à la sous-oxygénation des eaux ? *C. R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la terre et des planètes/Earth & Planetary Sciences*, 326: 207-213
- Premoli Silva, I., Erba, E., Salvini, G., Locatelli, S. & Verga, D., 1999. Biotic changes in Cretaceous oceanic anoxic events of the Tethys. *Cretaceous Research*, 29: 352-370
- Venturati, A. 2003. Foraminiferi e stress ambientale: casi studio dal Cretacico e dall'attuale. Unpublished PhD Thesis – Università di Urbino, pp. 179

## THE EARLY CRETACEOUS (LATE HAUTERIVIAN) FARAONI EVENT IN THE WESTERN TETHYS: A PRELUDE TO THE SELLI EVENT?

Alberto Venturati

Centro di Ricerca di Micropaleontologia Ambientale, 61100 Pesaro (Italy). E-mail: crma\_ps@libero.it

Sedimentary records from the Cretaceous time reveal several remarkable dark, well-laminated, carbon-rich intervals indicating that the ocean floor was prone to oxygen-poor (anoxic/dysoxic) conditions.

Available data from land sections and deep sea cores show that many of these carbon-rich levels occur simultaneously in the world's oceans.

Some of these carbon-rich intervals are the sedimentary expression of global and supra-regional paleoceanographic episodes also known as Oceanic Anoxic Events (OAEs of Schlanger and Jenkins, 1976).

The Cretaceous OAEs are periods of high carbon burial and drawdowns in atmospheric carbon dioxide during the mid-Cretaceous greenhouse climate, and they caused biological turnover.

Many OAEs are usually attributed to high marine primary productivity and export of carbon that led to preservation of organic enriched dark shales.

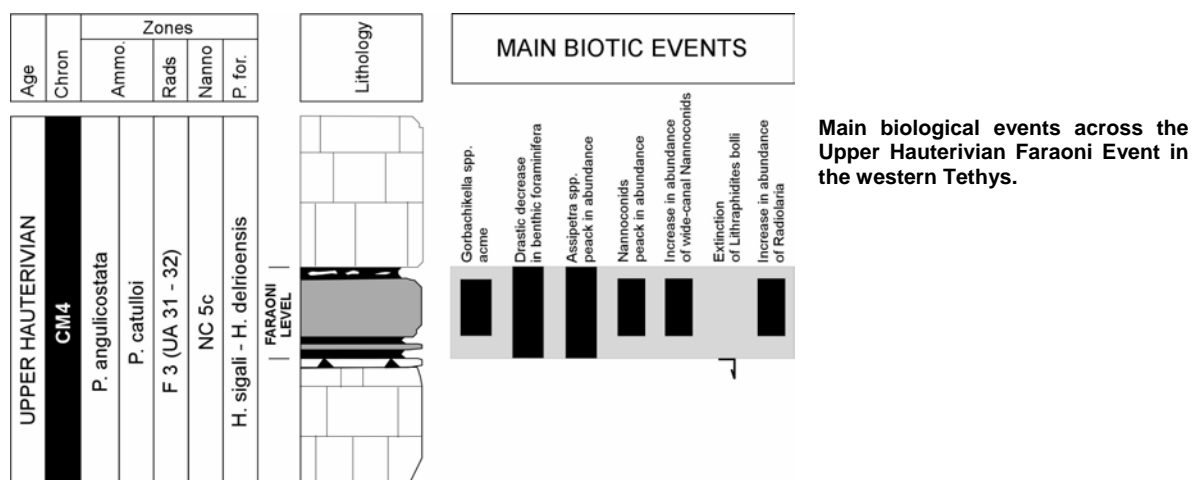
The uppermost Hauterivian Faraoni Level is the first prominent, supra-regional marker-bed, indicator of global changes that led to the widespread deposition of mid-Cretaceous  $C_{org}$ -rich facies. This peculiar guide-bed and its equivalents, are recognizable within the early Cretaceous pelagic sequence of several well-noted sedimentological basins of the western Tethys (Subbetic Domain, Vocontian Basin, Belluno Basin, Umbria-Marche Basin and Trapanese Domain) which are useful markers for lithostratigraphic correlations (e.g. Coccioni et al., 1998, Baudin et al., 1999, Erba et al., 1999, Bellanca et al., 2002, Company et al., 2003, Venturati, 2003).

On the basis of accurate micropaleontological and geochemical analyses, allow to recognise that the Faraoni Level and its equivalents record the following events (Figura):

- acme of the globular planktonic foraminifers *Gorbachikella* spp.
- drastic decrease in abundance of benthic foraminifera
- slight predominance of agglutinated foraminifera assemblages
- extinction of the calcareous nannofossil species *Lithraphidites bollii*
- increase in abundance of wide-canal nannoconids
- increase in abundance of radiolaria
- small positive excursion of  $^{13}C$
- positive record of the marine phosphorus accumulation curve

Besides this, it is possible to agree that the Faraoni Level largely predates the well known series of biotic turnovers and geochemical events related to the Selli Event.

FMain biological events across the Upper Hauterivian Faraoni Event in the western Tethys



## References

- Baudin, F., Cecca, F., Galeotti, S. & Coccioni, R., 2002. Palaeoenvironmental controls of the distribution of organic matter with a C<sub>org</sub>-rich marker bed (Faraoni level, uppermost Hauterivian central Italy). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 95: 1-13
- Bellanca, A., Erba, E., Neri, R., Premoli Silva, I., Sprovieri, M., Tremolada, F. & Verga, D., 2002. Palaeoceanographic significance of the Tethyan "Livello Selli" (early Aptian) from the Hybla Formation, northwestern Sicily; biostratigraphy and high-resolution chemostratigraphic records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 185: 175-196
- Coccioni, R., Baudin, F., Cecca, F., Chiari, M., Galeotti, S., Gardin, S. & Salvini, G., 1998. Integrated stratigraphic, palaeontological, and geochemical analysis of the uppermost Hauterivian Faraoni Level in the Fiume Bosso section, Umbria-Marche Apennines, Italy. *Cretaceous Research*, 19: 1-23
- Company, M., Aguado, R., Jimenez de Cisneros, C., Sandoval, J., Tavera J.M. & Vera J.A., 2003. Biotic changes at the Hauterivian/Barremian boundary in the Mediterranean Tethys. Field-trip guide to Agost (K/T) and Rio Argos (Hauterivian/Barremian) sections. Bioevents: their stratigraphical records, patterns and causes. Caravaca de la Cruz, June 3<sup>rd</sup>-8<sup>th</sup> 2003, 15-28
- Erba, E., Channel, J.E.T., Claps, M., Jones, C., Larson, R., Opdyke, B., Premoli Silva, I., Riva, A., Salvini, G. & Torricelli, S., 1999. Integrated stratigraphy of the Cismon Apticore (Southern Alps, Italy): a "reference section" for the Barremian-Aptian interval at low latitudes. *Journal of Foraminiferal Research*, 29: 371-391
- Schalanger, S. O. & Jenkins, H. C., 1976. Cretaceous anoxic events: causes and consequence. *Geol. Mijnb.*, 29: 179-184
- Venturati, A., 2003 Foraminiferi e stress ambientale: casi studio dal Cretacico e dall'attuale. Unpublished PhD Thesis – Università di Urbino, pp. 179



## SEQUENCE STRATIGRAPHY, SR ISOTOPIC STRATIGRAPHY, AND BIOSTRATIGRAPHY OF CAMPANIAN-MAASTRICHTIAN SEDIMENTS IN THE KURE BEACH CORE, NORTH CAROLINA, U.S.A.

W. Burleigh Harris, Jean M. Self-Trail, Robert E. Weems

Department of Earth Sciences, University of North Carolina at Wilmington, Wilmington, NC 28403;  
(2) U.S. Geological Survey, Reston, VA 20192

A 422 m core drilled at Kure Beach, North Carolina includes a nearly continuous 380 m section of Upper Cretaceous mixed carbonate and siliciclastic sediments. Thirty-seven samples of mollusks, ostracods and benthic foraminifers from six depositional sequences were analyzed for  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios and corresponding age using the LOWESS (Locally Weighted Regression Scatterplot Smoother) Table. Forty-five sediment samples were examined for calcareous nannofossil content. The oldest depositional sequence (1) consists of basal fine to very coarse phosphatic and glauconitic sand grading upward into clay and silt. Calcareous nannofossils indicate assignment to the upper part of Zones CC18a, CC18c and the lower part of CC19 based on the first occurrence of *Aspidolithus parvus parvus* and the last occurrence of *Marthasterites furcatus*, respectively.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios range from 0.707498 to 0.707533 with ages ranging from 83.2 to 80.0 Ma. These data indicate this sequence is lower Campanian and assignable to the UZA3.5 global coastal onlap cycle (GCOC). Sequence 2 consists of sparsely fossiliferous, very fine to fine silty sand, clayey silt, and sandy clay. Calcareous nannofossils indicate assignment to the upper part of Zone CC19, CC20, and basal CC21 based on the absence of *M. furcatus* and the presence of *Ceratolithoides aculeus* and *Quadrum sissinghii*, respectively.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios range from 0.707565 to 0.707598 and indicate ages ranging from 78.0 to 76.3 Ma. This sequence is Campanian and assignable to UZA4.1 GCOC. Sequences 3 and 4 consist of calcareous glauconitic sand, and contain calcareous nannofossils assignable to Zones CC22a/b, CC22c and CC23.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios range from 0.707658 to 0.707690 for the lower part of the interval and indicate ages ranging from 73.7 to 72.6 Ma. A  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio of 0.707726 at the top of interval indicating an age of 71.4 Ma suggests another boundary between CC22a/b and CC22c. These sequences are upper Campanian and assigned to the UZA4.2 and UZA4.3 GCOC. Sequence 5 consists of basal fine-grained calcareous sand that grades upward through muddy carbonate sand to upper calcareous sand. Calcareous nannofossils assign it to Zones CC25a and CC25b based on the first occurrence of *Lithraphidies quadratus* at 122.6m.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios range from 0.707801 to 0.707777 indicating ages from 67.0 to 68.8 Ma. This sequence is Maastrichtian and is assigned to the UZA4.4 GCOC. Sequence 6 consists of basal bioturbated calcareous sand overlain by upper sandy, pelecypod-mold grainstone. The presence of *Ceratolithoides kamptneri* coupled with the absence of *Micula prinsii* assign it to Zone CC26a.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios range from 0.707813 to 0.707829 indicating ages from 66.4 to 64.8 Ma. This sequence is upper Maastrichtian and assigned to the UZA4.5 GCOC. Sediment accumulation rates were calculated for both the Campanian and Maastrichtian sections using biostratigraphic and strontium isotopic control. Accumulation rates were very high during the Maastrichtian (45 m/m.y) and possibly reflect nearshore influence. A hiatus spanning approximately 4 m.y. occurs between the Campanian and the Maastrichtian; upper Campanian sediments are largely absent, with only a series of thin condensed intervals, or possibly erosional remnants, remaining. Sediment accumulation rates for the lower Campanian were considerably less than the Maastrichtian (15 m/m.y.) and reflect an outer to middle neritic environment of deposition.

## **PALEOGEOGRAPHY OF THE UPPER CRETACEOUS OF SOUTHWESTERN PUERTO RICO: A SEQUENCE STRATIGRAPHIC STUDY**

Hernán Santos

*University of Puerto Rico, Mayagüez Campus.*

Five carbonate platforms/ramps developed in southwestern Puerto Rico during Late Cretaceous time. These are the results of volcanic/tectonic episodes followed by subsidence and relative sea-level rise. Transgressions resulted in deposition of rudist-bearing carbonates. Rudistid bivalves in this study belong to the *Durania curasavica*, *Barrettia gigas*, and *Titanosarcolites giganteus* biozones, Santonian, Campanian, and Maastrichtian age respectively. Stratigraphic units associated with these biozones are the Cotui, Peñones, Parguera, Guaniquilla, and El Rayo Limestone and Yauco Fm. Deposition of Cotui Limestone started during a regional transgressive event that resulted in aggradation and progradation of a Santonian platform. Deposition ended by a volcano/tectonic event that exposed the platform developing a karst topography. The lower sea-level is represented by the Peñones Limestone of Lower Campanian age, a relatively small platform developed during low stand.

Unconformably overlying the Cotui Limestone is the Monte Grande Formation, a fining-upward sequence caused by a relative sea-level rise after volcanism. Continued sea-level rise resulted in deposition of the Guaniquilla Limestone and Yauco Fm. This limestone represents a platform deposited across the volcanic surface. Deposition terminated by extrusion of the El Rayo volcanics. The El Rayo Formation represents three volcano-sedimentary cycles with development of carbonate platform/ramps. After El Rayo volcanism, a Maastrichtian transgression resulted in deposition of the lower limestone lens followed by aggradation and progradation of the platform. Deposition of the lower limestone lens ended abruptly by a shift of volcanism and partial filling of the basin by volcanics. The middle limestone lens represents a ramp deposited across the volcanic surface in the Upper Maastrichtian. Deposition of the middle lens also ended by volcanism. The third limestone lens of El Rayo Formation was probably deposited in Paleocene time.

The relative sea-level rises and falls of these carbonate platform and intervening volcanics correlate to similar carbonate platforms within the Caribbean.

## PALEOGEOGRAPHIC EVOLUTION OF THE SOUTHEASTERN REGION OF THE GULF OF MEXICO ( NW CUBA – DEEP WATERS )

Gaumet Fabrice<sup>(2)</sup>, Jean Letouzey<sup>(2)</sup> and Jorge R. Sanchez<sup>(1)</sup>

(1) Oil Research Center, Havana, Cuba.

(2) French Petroleum Institut, Paris, France .

### RESUMEN

Se propone un modelo tectono – paleogeográfico nuevo tomando como antecedente al modelo de Marton. Los modelos esquemáticos restablecidos se basan en nuestros datos estratigráficos integrados ( sismoestratigrafía, estratigrafía secuencial y bioestratigrafía ). El modelo toma en cuenta la evolución entre las principales masas terrestres ( Bloques de Yucatán y La Florida ) y los dominios oceánicos ( el sector central del Golfo de México y el proto-Caribe, desde el Oxfordiano hasta el Santoniano. La paleogeografía está también restablecida cuando comenzó la subducción hasta la colisión entre el Gran Arco de las Antillas y Norteamérica.

El margen sureste de Yucatán, que aflora parcialmente en Cuba occidental, está desplazado hacia el sur. La rotación del Bloque de Yucatán en contra de las manecillas del reloj acomodó el espacio disponible para la formación de corteza oceánica en el Golfo de México. Yucatán rotó a lo largo de la occidental falla principal transformante localizada al este de México. En la parte septentrional de la Cuenca Central del Golfo de México se desarrolló un sistema sincrónico a la ruptura (syn-rift) al abrirse la cuenca del Golfo de México.

Los carbonatos de aguas someras y de aguas profundas se depositaron durante el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior a lo largo del margen del proto-Caribe, concomitantemente con el estadio de la deriva o de la subsidencia térmica.

La convergencia y la subducción entre el Gran Arco Antillano y el proto-Caribe comenzó en el Campaniano, quizás desde el Santoniano Tardío. El Gran Arco Antillano colisionó al margen sureste de Yucatán desde el Maestrichtiano, testigo de lo cual son las megabrechas polimícticas. La colisión con el margen de Norteamérica comenzó en el Paleoceno Tardío y concluyó en el Eoceno Medio, cuando se sellaron la mayoría de los sobrecoimientos. Durante ese tiempo, la costa norte de Cuba fue bordeada por una cuenca flexural con sedimentos de un flysch marino profundo y olistostromas.

Se muestran 10 mapas paleogeográficos principalmente basados en los modelos deposicionales a partir de la interpretación de la sísmica especulativa del área.

### ABSTRACT

A new plate tectono-paleogeographic model is proposed, which is derived from slightly modified Marton's model. Restored paleogeographic sketches are based on our integrated stratigraphic results (seismo-stratigraphy, sequence stratigraphy and biostratigraphy). The model takes into account the evolution between main land masses (Yucatan Block and Florida Block) and oceanic domains (Central Gulf of Mexico and Proto-Caribbean) from the Oxfordian up to the Santonian. Paleogeography is also restored when started subduction up to the collision between the Great Antille Arc and North America. The Yucatan southeastern margin, which partly outcropping in western Cuba, is southerly shifted. The counter-clockwise rotation of the Yucatan Block accommodated the available space for oceanic crust formation in the Gulf of Mexico. The Yucatan rotated along the Western Main Transform Fault located in eastern Mexico. A syn-rift system was developed in the northern Central Basin when opened the Gulf of Mexico Basin.

During Upper Jurassic-Lower Cretaceous times, shallow water and deep water carbonates were deposited along the proto-Caribbean margin when the drifting stage occurred.

Convergence and subduction between the Great Antille Arc and the proto-Caribbean started in Santonian(?)/ Campanian time. The Great Antille Arc collided the southeastern Yucatan margin from the Maestrichtian, based on the occurrence of polymictic mega-breccias. Collision with the North American margin started in Late Paleocene and ended in Middle Eocene when were sealed most of the thrust belts. A flexural basin with deep marine flysch deposits and olistostromes rimmed the northern coast of Cuba during this time. Ten paleogeographic maps are discussed.

## INTRODUCTION

This work is to review the Jurassic through Eocene geological history of the Southeastern Gulf of Mexico. This offshore domain is about a triangular area that connected the Florida Plain with the Yucatan Straits and the western Straits of Florida. (Fig.1). The model proposed hereafter takes into account the tectono-stratigraphic history of Cuba. A seismo-stratigraphy analysis was used, combining sequence stratigraphy, sedimentology and biostratigraphy, including nannofossils, microfossils, palynology and compiled biostratigraphic data from ODP wells, onshore wells and outcrops (Fig. 2).

### Pre-rift

From the Late Triassic (?) up to the Middle Jurassic (prior to Callovian), syn-rift clastics of Sequence A were deposited in a continental rifted zone between Yucatan Block and Sarasota Arch that were emerged at that time. This pre-rift (?) / syn-rift phase I corresponded to the Gulf of Mexico rifting stage. During this time hyper-saline and dolomitic platforms alternated with clastics from the Yucatan Straits up to the Straits of Florida. The elongated mixed platform belongs to the Proto-Caribbean margin. Extension with horst/graben differentiation and clastic/carbonate sedimentation prevailed along the margin of the upcoming proto-Caribbean Ocean (*San Cayetano Fm. Between Yucata and South America and Red Beds between North and South Americas*).

The previous rifted zone was mostly emerged at the Late Middle Jurassic time (Callovian, Sequence B). From the Yucatan Straits up to the Straits of Florida were stacked thick deposits of shallow marine evaporite / dolomite platforms (Sequence B) and presumed salts equivalent to the *Punta Alegre Fm.* in Cayo Coco and Remedios areas.

Carbonate platform deposition started over the Jordan Knoll. It was an isolated platform shoal within a hyper-saline subsident lagoon.

Clastic deposits were then deposited in half-grabens during Lower Oxfordian time in the southeastern Gulf (Sequence C). The rifted zone covered the Catoche Tongue and the northern Central Basin. The Jordan Knoll was a smaller platform shoal isolated within the rifted domain. The syn-rift system II, which was the southward propagating continental rift due to the Gulf of Mexico spreading phase, started with the Sequence C.

Activity of normal faults was smoothed from this time along the proto-Caribbean margin. It probably recorded the thermal subsidence along the northern proto-Caribbean margin, with the deposition of shallow water carbonates in the Yucatan Straits. Hyper-saline lagoonal conditions prevailed in the easternmost domain of the western Straits of Florida. So along the proto-Caribbean margin, the Sequence C marks the beginning of the Upper Jurassic post-rift system.

### Rift

#### *Oxfordian to Uppermost Tithonian*

The rifted zone was maintained during the Upper Jurassic as a whole (Sequences C, D1, D2 & E). Its southern extension was a SW-NE oriented line about crossing ODP wells 536, 535 & 540. The sequences have a wedge-shaped geometry in half grabens and onlap tilted block crests.

From the Mid Oxfordian, carbonate sediments dominated throughout the southeastern Gulf of Mexico. Extensive microbial platforms rimmed the Yucatan Block (D2 Sequence), while deep marine carbonates / clastics and isolated build-ups were deposited in the rifted zone (Sequences D1 & D2). Some paleo-highs and tilted block crests were still emerged in the rifted domain.

A deeper channel from now on separated the Yucatan and the Florida-Bahamas settings. The Jordan Knoll with shallow water conditions persisted within the seaway. The hyper-saline lagoon retreated in the Florida domain northeastwards. It is rimmed by a shallow water shelf margin with clinoforms where prevailed normal marine conditions (carbonate deposition).

The Yucatan platform margin was drowned in Upper Tithonian time, as marked by the onlap pattern of Sequence E, the development of a large by-passed (in sediments) domain by current scouring and the net retrogradation of shallow water platforms towards the Yucatan Block. Platform carbonates aggraded in the western Straits of Florida and over the Jordan Knoll, while the shelf margin retrograded southwards. At the east of the Florida domain hyper-saline lagoon aggraded during the same time. Syn-rift system continued in the southeastern Gulf with emerged block crests and deep marine grabens.

#### *Lower Cretaceous: Berriasian – Barremian*

The Berriasian time corresponded to the end of the rifting in the southeastern Gulf of Mexico, because of the ocean crust spreading ceased in the Gulf center. A prominent reflector that capped all previous emerged structures (Sequence F) recorded this important event. Ooid shoals were deposited over tilted block crests (ODP 537 & 538), while the Yucatan margin was dominated by current scouring and non-deposition phenomenon. The deepening trend, which was initiated in Upper Tithonian stage, continued as expressed by the more widely connection between the Gulf and the proto-Caribbean domains. Carbonate platform and hyper-saline lagoon slightly retrograded in the Florida domain. The Lower Cretaceous shelf margin was from now the Florida Escarpment to the north. The Jordan Knoll was still a shoal with platforma deposition. Starved basin conditions prevailed in the North Central Basin.

Lower Cretaceous platforms (Valanginian to Barremian; Sequences G1 & G2) then prograded towards the Central Basin from the Yucatan and Bahamas too. Their sequence boundaries downlap the Berriasian top sequence. At this time slope carbonate wedges limited the connection between the Gulf and th proto-Caribbean. The central slope domains included isolated ooid shoals and platform atolls (*i.e.* Jordan Knoll).

The Yucatan shelf margin for the first time matched with the Campeche Escarpment line. It announced the up-coming differentiation of the Yucatan upland.

#### *Lower-Middle Cretaceous: Aptian-Cenomanian*

A deep marine seaway initiated at Aptian time definitely separated the Yucatan and Florida-Bahamas margins. Several seaways that will definitely stay deep marine troughs up to Present time (Northern Straits of Florida, Nicholas Channel and Santaren Channel) contemporaneously dismembered the Bahamian “Mega-bank” platform. Carbonate platforms and hyper-saline lagoons mostly aggraded from Aptian to Early Cenomanian in Yucatan and Florida margins (Sequences G3 and H). Shallow marine conditions still prevailed over the isolated large knolls (Jordan and Pinar del Rio Knolls). The Catoche Knoll (ODP 538) was drowned during this time interval.

Calcareous sand slope deposits were downward-shifted from the Yucatan shelf margin (*cf.* ODP 536). So the upland Yucatan at the west of the Campeche Escarpment could be initiated from the Aptian time.

A short event of relative sea level fall, marked by a net downward shift of facies, took place in Late Cenomanian time. Shallow marine deposits of sequence H' overlaid slope carbonates in the both side of the by-passed Jordan Knoll.



## Post-rift system

### Upper Cretaceous: Turonian-Maastrichtian

Hyper-saline conditions ceased in platform domains from the Late Cenomanian to the Maastrichtian. Main platforms abruptly stepped back towards the modern bathymetric profile in the Yucatan and the Florida areas. Shallow water build-ups persisted in the Southern Straits of Florida and in Cay Sal (Sequence I). Intraself Florida-Bahamas seaways were connected with the Gulf of Mexico via a channel developed along the South Florida Basin. The Atlantic-Gulf of Mexico connection significantly modified current flows in the Gulf. Current intensification and sediment starvation during a rapid relative sea-level rise determined a post-Cenomanian Unconformity throughout the Southeastern Gulf of Mexico. All previous shallow-marine knolls were drowned and by-passed at that time. The post-Cenomanian Unconformity is correlative with the "Mid-Cretaceous Sequence Boundary" which has been identified throughout the deep Gulf of Mexico basin and along its eastern and southern margins.

### Paleocene – Lower Eocene (Fig. 3)

The Great Antille Arc collided the Bahamas margin in Early Paleocene and Early Eocene times when progradation (South Florida), aggradation (Cay Sal) and retrogradation (Yucatan) together occurred in platform settings. Two narrow E-W elongated shallow water carbonate banks, which will be drowned at Miocene time, were also preserved in the Southern Straits of Florida. The play of a secondary fault controlled the southern smaller one. Clastic deep marine flyschs were deposited in the flexural basin that rimmed the NW Cuban Coast. They progressively draped and onlapped the starved basin in the Southeastern Gulf of Mexico. Post-tectonic sediments were contemporaneously deposited in "piggy-back" basins eastwards, at the south of carbonate banks in the Western Straits of Florida.

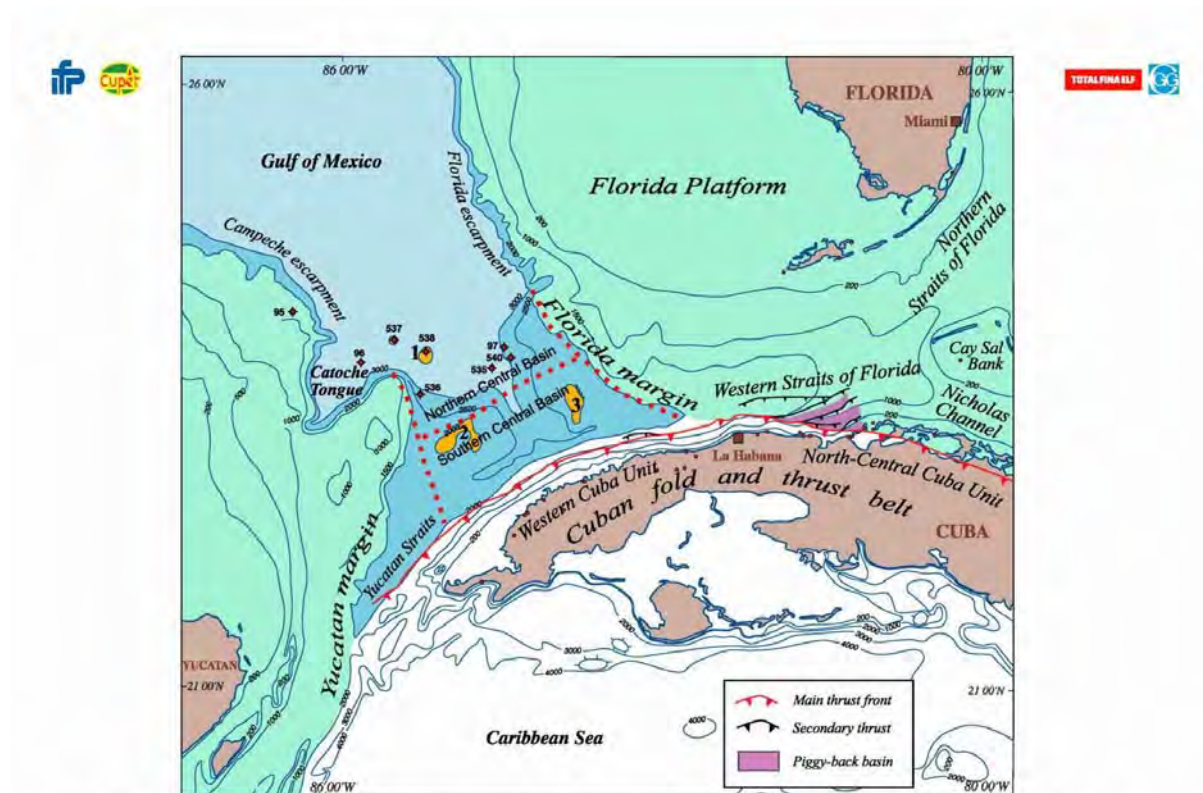


Fig. 1 - Main physiographic features of northwestern Cuba/southeastern Gulf of Mexico. 1 - Catoche Knoll; 2 - Pinar del Rio Knoll; 3 - Jordan Knoll



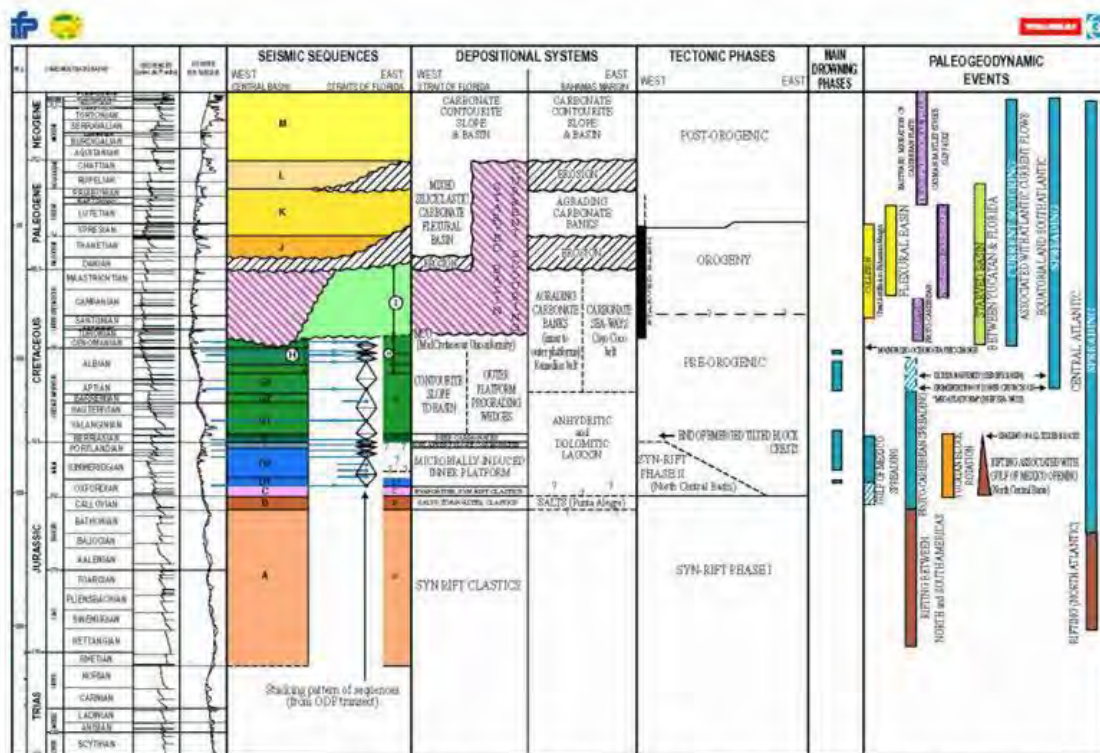


Fig. 2 - Seismo-stratigraphic chart of the southeastern Gulf of Mexico - Offshore NW Cuba - from CGG non-exclusive survey

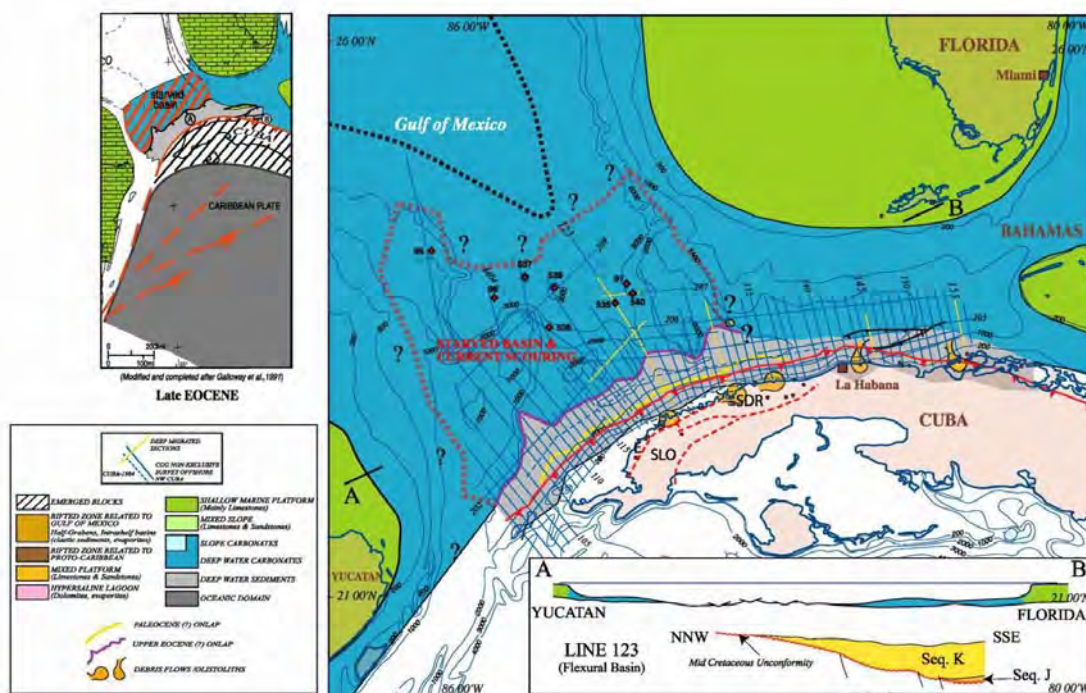


Fig. 3 - Paleocene-Eocene paleogeographic map.  
E: Esperanza Belt; SLO: Sierra de Los Organos; SDR: Sierra Del Rosario; WEST CUBA: Manacas, Ancón Fms. (breccias, olistoliths in shales)  
NORTH CUBA / Paleocene Gap, Eocene: Sagua, Vega Alta Fms. (clastic flyschs, breccia / debris flows)



## DOSIMETRÍA DE RADÓN-222 EN BALNEARIOS.

**Pablo de Jesús Cervantes González y Ángela Manchado Martín.**

*Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional. Calle 44 #502 entre Ave. 5ta y 5ta-A, Miramar, Playa, Ciudad de la Habana, Cuba. Email: angelamanchado@infomed.sld.cu*

### RESUMEN

Los autores presentan un estudio de los niveles de dosis de exposición a los que están sometidos los curistas de los Balnearios Elguea y San Diego de los Baños, partiendo de las determinaciones de Radón 222 y de Radio 226 por la Técnica de Track – Etch (Detectores Sólidos de Trazas Nucleares)

Se presentan los resultados del estudio empírico, en estos balnearios, del fenómeno de inducción de efectos beneficiosos para el mejoramiento de la calidad de vida usando dosis bajas de agentes físicos ó químicos que son perjudiciales en concentraciones elevadas (Hormesis). El elemento biológicamente activo estudiado en el trabajo es el Radón-222. En este trabajo se aportan evidencias del efecto biopositivo de un agente geobiológico en humanos.

Se realiza una comparación con los resultados obtenidos en la experiencia internacional.

Se realizan recomendaciones para la aplicación de terapias con aguas radiactivas, en aspectos arquitectónicos e investigaciones futuras. La experiencia recogida está basada en el uso de las aguas radiactivas de los Balnearios San Diego de los Baños y Elguea.

Como parte de los resultados de los estudios realizados, se presentan las Dosis Equivalentes Efectivas a las que son sometidos los curistas en los Balnearios San Diego de los Baños y Elguea las que son bajas y muy inferiores a los 50 mSv año<sup>-1</sup> que regulan las organizaciones internacionales de protección a las radiaciones ionizantes particularmente la ICRP (International Commission on Radiological Protection).

### ABSTRACT

Exposition level-doses studies about tourist in Elguea and San Diego de los Baños Spas are presented by the authors from measurements of Radon-222 and Radio-226 by the Track-Etch technique (Solid State Nuclear Track Detectors).

The paper describes the results, in these Spas, of the induction beneficial effects for the improvement of live quality using physic agents in low doses (Hormesis). Radon-222 is the biologically active element. Also, in this paper, be brings the evidences about Biopositive effects of a geobiological agent in human.

From this point of view of international practice, the results are compared.

Recommendations have been realized for the application of radioactive waters therapies, architecturals and future research aspects.

Effective Equivalents Doses are showed and more lower than 50 mSv year<sup>-1</sup>, limit regulated by the International Commission on Radiological Protection.

### INTRODUCCIÓN

En nuestro país contamos, hasta el momento, con 2 balnearios: San Diego de los Baños y Elguea, en cuyas aguas está presente el elemento bioactivo Radón-222 (elemento radioactivo). Durante años en estos balnearios se han realizado las determinaciones de la concentración de este gas noble, el cálculo de las Dosis Equivalentes Efectivas a las que son sometidos los pacientes y el tratamiento de diferentes afecciones a la salud del ser humano.

Elguea, Centro Termal ubicado al norte-centro de la Isla de Cuba, posee, como recurso natural termal importante, aguas mineromedicinales radiactivas que son surgentes a través de un sistema de fallas geológicas y están asociadas a la anomalía radiactiva más intensa (U, Th, K)



localizada, hasta el momento, en la superficie del país, tiene un control tectónico y está asociado a sedimentos carbonatados de edad Cretácico.

Las concentraciones de Radio-226 y Radón-222 en agua alcanzan los  $0.879 \text{ nCiL}^{-1}$  y  $5.96 \text{ nCiL}^{-1}$  respectivamente, debido a lo cual se han realizado estudios dosimétricos durante años con el objetivo de controlar las Dosis Efectivas a las que están expuestos pacientes y personal profesional que labora en la instalación, partiendo de la exposición a la concentración de Radón-222 en aire de hasta  $1.43 \text{ nCiL}^{-1}$ .

San Diego de los Baños, Centro Termal ubicado en la región occidental de la Isla de Cuba, en la zona noreste de la provincia de Pinar del Río, municipio Los Palacios posee, como recurso natural termal importante, aguas mineromedicinales radiactivas que son surgentes a través de un sistema de fallas geológicas y que han sido estudiadas por los autores de este trabajo a través de mediciones en tres manantiales fundamentales: El Tigre, El Templado y La Gallina los cuales brotan en el cauce del Río San Diego de los Baños. Este Yacimiento de Aguas Mineromedicinales tiene un control tectónico y está asociado a rocas carbonatadas de la Fm. Artemisa de edad Jurásico Superior (Oxfordiano)-Cretácico Inferior.

En el Balneario San Diego de los Baños las concentraciones de Radón-222 en agua alcanzan los  $2.14 \text{ nCiL}^{-1}$  debido a lo cual se han realizado estudios dosimétricos durante años con el objetivo de controlar las Dosis Efectivas a las que están expuestos pacientes y personal profesional que labora en la instalación, partiendo de la exposición a la concentración de Radón-222 en aire de hasta  $1.14 \text{ nCiL}^{-1}$  y en recintos cerrados de hasta  $1.87 \text{ nCiL}^{-1}$ .

Los estudios dosimétricos realizados con el objetivo de precisar las Dosis Equivalentes Efectivas a las que están expuestos los curistas, permiten asegurar que las dosis son inferiores a los  $50 \text{ mSv año}^{-1}$  que fijan como límite máximo permisible los organismos de protección radiológica, lo cual nos permite utilizar las propiedades horméticas de los radionucléidos presentes en las aguas para el tratamientos de diferentes afecciones del organismo humano y para el mejoramiento de la calidad de vida en general.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Determinaciones de Radón-222 y Radio-226.

El estudio de la radioactividad en las Aguas Mineromedicinales contempla principalmente la determinación de la concentración de Radón-222 y Radio-226 en las mismas. El conocimiento de este parámetro es de vital importancia por el valor incorporado que adiciona a los tratamientos de diferentes afecciones, desde el punto de vista balneológico.

La detección y medición de la concentración de Radón-222 es una técnica considerada como la de mayor profundidad de estudio entre los métodos radiométricos.

Las variantes de medición más usadas son las determinaciones en suelos, aguas y en el aire (con fines de estudios ambientales). Las técnicas de determinación pueden ser de tiempo corto: Emanometría, y de tiempo largo ó de monitoreo: Track-Etch (Detectores Sólidos de Trazas Nucleares).

### Determinación de Radón-222 y Radio-226 por Track-Etch.





La técnica de Track-Etch ha sido implementada metodológicamente (Fleischer, 1979; King, 1980; Kristiansson, 1984; Segovia, 1989 y Varhegyi, 1986) y aplicada por el autor para la resolución de distintas tareas geológicas (Cervantes, 1990; González, 1991; Cervantes, 1996 y Cervantes, 1999).

Los aspectos básicos de esta técnica se describen a continuación.

La técnica está basada en la utilización de Detectores Sólidos de Trazas Nucleares confeccionados con sustancias sensibles, únicamente, a las partículas alfa.

Los más utilizados por nosotros son los detectores de Nitratocelulosa LR-115 Tipo II, con un área de superficie expuesta de 1 cm<sup>2</sup>. Estos son colocados en portadetectores cubiertos por una membrana discriminadora del Radón-220 (Cervantes, 1990).

La configuración del dispositivo de medición es el siguiente:

- ❖ Porta detector (vaso plástico común)
- ❖ Soporte del detector
- ❖ Detector LR-115, Tipo II con un área de 1 cm<sup>2</sup>.
- ❖ Membrana discriminante de Radón-220 (Torón)
- ❖ Banda elástica
- ❖ Cinta adhesiva (para sellar el sistema)

El tiempo de exposición en el campo ó en el laboratorio varía entre 3 y 21 días para la medición de la concentración de Radón-222.

Una vez recogidos, los detectores son sometidos a un proceso de revelado en una solución de NaOH al 10 % en Baño de María con temperatura de 55 °C durante 3 horas (Cervantes, 1990). Posteriormente son secados bajo lámpara infrarroja después de lo cual se procede al conteo de las trazas bajo un microscopio de luz transmitida con aumento 100 x.

## RESULTADOS

### Estudios Dosimétricos.

Los estudios dosimétricos tienen el objetivo de determinar las Dosis Equivalentes Efectivas por exposición a radiaciones ionizantes provenientes del Radón-222 que reciben los “curistas” y personal profesionalmente expuesto en las instalaciones balneológicas.

Por otra parte, es de mucha utilidad conocer qué dosis utilizaremos en los diferentes tratamientos con aguas radioactivas, en las distintas afecciones del ser humano y si ésta dosis se mantiene por debajo del límite superior permisible anual.

En los tratamientos balneológicos con aguas radioactivas aprovechamos los “efectos horméticos” del Radón-222, el cual, en concentraciones de bajos niveles produce efectos beneficiosos en el organismo humano (Luckey, 1998; Soto, 1996; Calabrese, 1997).

Las curas más usuales con aguas radioactivas son la hidroterapia combinada con la inhalación y la hidropínica mediante la ingestión de cantidades dosificadas de estas aguas. Debido a esto,

los cálculos de la Dosis están dirigidos a la "Dosis por Inhalación de Radón-222" y "Dosis por Ingestión de Radón-222" (Cervantes, 1996; Gómez, 1994; ICRP, 1981).

El cálculo de la Dosis Equivalente Efectiva se fundamenta en la utilización de "Factores de Conversión" determinados en Modelos Dosimétricos que simulan los diferentes "órganos críticos" del cuerpo humano (Gómez, 1994 y Nasske, 1985).

Estos Factores de Conversión (Nasske, 1985) son aplicados a las concentraciones de Radón-222 determinados en agua y a la concentración de Radón-222 determinada en el aire de las instalaciones balneológicas, obteniendo como resultado las Dosis Equivalentes Efectivas en cada "órgano crítico" y en el "cuerpo entero" la cual se compara con los "Límites de Dosis Permisibles" que fijan los organismos internacionales de protección a las radiaciones ionizantes.

En las Tablas No. I y II se presentan las Dosis Equivalentes Efectivas a las que son sometidos los curistas en los Balnearios San Diego de los Baños y Elguea, considerando 90 horas de exposición de los mismos a las radiaciones (Cervantes 1999).

**Tabla No. I Dosis Equivalente Efectiva. Balneario San Diego de los Baños.**

Vía de incorporación.	Órgano crítico.	
	Cuerpo entero (mSv año <sup>-1</sup> )	Estómago (mSv año <sup>-1</sup> )
Inhalación de Radón-222	12.0	-
Ingestión de Radón-222	0.029	0.25

**Tabla No. II Dosis Equivalente Efectiva. Balneario Elguea.**

Vía de incorporación.	Órgano crítico.	
	Cuerpo entero (mSv año <sup>-1</sup> )	Estómago (mSv año <sup>-1</sup> )
Inhalación de Radón-222	15.0	-
Ingestión de Radón-222	0.032	0.27

Como se puede apreciar en las Tablas, las Dosis Equivalente Efectiva, a las que son sometidos los curistas son bajas y muy inferiores a los 50 mSv año<sup>-1</sup> que regulan las organizaciones internacionales de protección a las radiaciones ionizantes particularmente la ICRP (International Commission on Radiological Protection). También estos organismos definen los niveles de "baja dosis" como el total de dosis recibida menor que 10 mSv a una elevada tasa de dosis en un evento separado o menos de 20 mSv año<sup>-1</sup> para una dosis recibida continuamente. No obstante todos estos límites máximos permisibles están bajo discusión científica ya que no toman en consideración el tipo de radiación, considerándose por muchos autores que para la radiación alfa existe un límite de baja dosis, que puede llegar hasta los 4000 mSv, tomando en consideración la dosis que puede ser físicamente depositada en una célula aislada (Edward, 1998 y Felnederger), planteado en un análisis sobre las bajas dosis, del Task Group del INSC (International Nuclear Societies Council).

## DISCUSIÓN

### La aplicación de la Radónterapia.

En la Tabla No. III se presentan las patologías o afecciones que han sido sometidas a tratamientos con Radónterapia en los Balnearios San Diego y Elguea, siguiendo la experiencia europea (Armijo, 1994).

**Tabla No. III Existencia de resultados con validación médica y/o clínica en Balnearios en estudio.**

No.	Patologías ó afecciones	Balneario San Diego de los Baños.	Balneario Elguea.
1	Procesos inflamatorios crónicos	X	X
2	Procesos respiratorios	X	X
3	Afecciones digestivas	X	X
4	Afecciones dermopáticas	X	X
5	Procesos inflamatorios ginecológicos crónicos	X	
6	Afecciones nerviosas	X	X
7	Afecciones renales	X	
8	Afecciones circulatorias		X

Con el objetivo de presentar un análisis de la relación dosis- respuesta de algunos de los tratamientos más usuales con Radón-222 en los balnearios San Diego de los Baños y Elguea, nos planteamos a priori, para cada afección, los signos o parámetros médicos que manifiestan una respuesta biopositiva, que permiten una validación de cada paciente o grupo de pacientes expuesto (ver Tabla No. IV).

**Tabla No. IV Resultados de la validación médica de los tratamientos por posible acción del Radón-222.**

**Balneario San Diego de los Baños.**

Afección ó Patología	No. de Casos	Tipo de tratamiento	Tiempo duración sesión promedio (minutos)	Tiempo duración total (días)	No. de Casos que reaccionaron positivamente	No. de Casos que reaccionaron negativamente	Criterios de validación
Neuropatía epidémica cubana	1631	Inhalación, bebida y baños	90	21	Más del 80 % de los casos	3 *	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potenciales evocados sensitivos motores.</li> <li>- Test de Ishihara.</li> <li>- Test de Salghreen.</li> <li>- Examen neurológico.</li> <li>- Campo visual.</li> <li>- Visión a color.</li> </ul>
Asma Bronquial	30 niños	Inhalación, bebida y baños	45	21	100 % de los casos	-	Ingresos hospitalarios por asma bronquial
Artritis reumatoidea	1000	Inhalación, bebida y baños	45	21	Más del 80 % de los casos	40 **	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Examen físico.</li> <li>- Eritrosedimentación.</li> <li>- Arco articular.</li> </ul>





Nota: \* Posterior al tratamiento se comprobó que estos pacientes eran portadores de afecciones degenerativas del SNC.

\*\* Pacientes portadores de otras patologías asociadas.

### Balneario Elguea.

Afección ó Patología	No. de Casos	Tipo de tratamiento	Tiempo duración sesión promedio (minutos)	Tiempo duración total (días)	No. de Casos que reaccionaron positivamente	No. de Casos que reaccionaron negativamente	Criterios de validación
Artritis reumatoidea	66	Fangoterapia (método egipcio), baños y ejercicios	80	10 – 15	87 %	5 *	- Examen físico. - Arco articular y dolor
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (asma bronquial, bronquitis crónica, etc.)	16	Aerosol terapia con inhaladores con agua MM diluida y baños	50	10 – 15	13	-	- Examen físico. - Seguimiento del paciente con consultas intermedias basadas en falta de aire y estertores.

Nota: \* Posterior al tratamiento se comprobó que estos pacientes eran portadores de afecciones degenerativas del SNC.

Las afecciones que fundamentamos, son aquellas, en las que tenemos una mayor probabilidad de que han respondido al estímulo de la acción del Radón-222, ya que en un agua mineromedicinal siempre tenemos presentes a otros oligoelementos y elementos bioactivos que pueden introducir sesgo en los resultados médicos alcanzados, por tener acciones semejantes. Un ejemplo de lo anterior es la presencia de  $\text{SH}_2$  y S, en los balnearios estudiados.

Finalmente, presentamos en la Tabla No. V las características de las aguas de diferentes balnearios del mundo en los cuales se aplica la Radónterapia, así como las afecciones que en ellos son tratadas. (Ver Tabla No.V)

## CONCLUSIONES

### **Crenotecnia de las aguas radioactivas.**

- En bebidas: Curas hidropínicas. Se recomiendan las de mayor concentración de Radón-222. En Europa se utilizan las de  $300 \text{ nCiL}^{-1}$  (Bogoljubov, 1988). El suministro se realiza mediante una jarra con pico cercano al fondo.
- En inhalación: Es la vía de incorporación más efectiva. Se utilizan recintos cerrados ó inhaladores.
- En baños. Se toma la precaución de cubrir la bañera y al paciente para que inhale el Radón-222 que se desprende del agua en la cual está contenido.

### **Crenotecnia de los lodos radioactivos (Radio-226).**

- En bañeras de lodo. Cubriendo también la bañera para aprovechar el Radón-222, siendo inhalado por el paciente.
- Aplicación local. Es suficiente un espesor entre 1 y 2 cm, aunque para aprovechar las otras propiedades físico-químicas del lodo es aconsejable un espesor de capa de 10 cm ó más. Puede aplicarse frío ó caliente (35 – 38 °C).
- Método egipcio. Para cuerpo entero. Es suficiente cubrir con una capa de menos de 1 cm. Muy utilizado en belleza, antiestrés y calidad de vida.

El tiempo de exposición depende de la concentración de elementos radioactivos que tenga el recurso termal, el grado de adaptación y respuesta del curista al tratamiento y de su estado general de salud.

### Recomendaciones técnicas y arquitectónicas para la Crenotecnia con aguas radioactivas.

- Las aguas radioactivas radónicas deben aplicarse en recintos muy cercanos a la fuente.
- Las aguas radioactivas radónicas no pueden almacenarse. Deben usarse directamente.
- Las aguas radioactivas radio-radónicas pueden ser trasladadas, para su empleo en tratamientos, hacia instalaciones alejadas de la fuente, sin correr riesgo de que pierdan sus propiedades radioactivas.
- La extracción del agua radioactiva debe realizarse mediante bombeo lento.
- Los recintos donde se construyan las piscinas ó se ubiquen las bañeras deben tener poco intercambio de aire con el exterior.
- El puntal (altura del techo) debe superar los 3.75 m en toda la instalación.
- Las salas de relajamiento y descanso deben tener un buen intercambio de aire con el exterior. Buena ventilación natural, evitando la cercanía a los recintos de tratamiento.

**Tabla No. V Características de las aguas de diferentes Balnearios del mundo.**

País	Balneario	Concentración Rn-222 (BqL <sup>-1</sup> )	Temperatura T (°C)	Mineralización Total (M) (g/L <sup>-1</sup> )	Otros componentes	Aplicaciones	Afecciones tratadas
Austria	Bad Gastein	150 (aire)	50		Nitrógeno	Baños, Cura hidropínica, Inhalaciones.	Respiratorias, del aparato locomotor, del sistema cardiovascular y sistema nervioso.
Francia	Lemont-Dore	111	38 - 44		CO <sub>2</sub> , Silicio, Hierro, Calcio, Litio y Arsénico.	Cura hidropínica, Chorros, Baños e Inhalaciones.	Del sistema respiratorio
Ucrania (Costa Mar Negro)	Tkvarceci	74 - 111	32 - 39	0.3 – 0.5	Cloruradas-sulfatadas-cálcicas-sódicas Silicio	Baños	Del aparato locomotor, del sistema nervioso periférico, ginecológicas
Georgia	Chaltubo	150	32 - 35	0.8	Cloruradas, bicarbonato-sulfatadas-magnesianas, sódico-cálcicas. Nitrógeno.	Baños, Irrigación, Inhalaciones.	Del sistema cardiovascular, del sistema nervioso periférico, ginecológicas, post-



							poliomielíticas
País	Balneario	Concentración Rn-222 (BqL <sup>-1</sup> )	Temperatura T (°C)	Mineralización Total (M) (gL <sup>-1</sup> )	Otros componentes	Aplicaciones	Afecciones tratadas
Alemania	Bad Brambach, Radiumbad Brambach.	5 000 – 30 000	2.7 - 15.4		Bicarbonato-das-cálcicas-sódicas. Carbonatos.	Baños, Cura hidropínica.	Del sistema cardiovascular, del aparato locomotor
	Baden-Baden	1 300 – 1 700	68		Clorurada-sódica	Baños, Cura hidropínica, Irrigación, Inhalaciones	Del aparato locomotor, del sistema nervioso periférico, del aparato digestivo, del sistema cardiovascular.
Hungría	Heviz	82	33 - 35	1.0	Sulfatadas-bicarbonatadas-cálcicas, magnesianas, sódicas	Baños, Cura hidropínica	Del aparato locomotor, del sistema nervioso periférico, estomacales, intestinales, ginecológicas
Turquía	Khmil'nyk	1 500 – 3 000	6 - 19	1.3	Bicarbonatadas cloruradas-cálcicas-sódicas. Carbonatos	Baños	Del aparato locomotor, del sistema nervioso periférico, ginecológicas
	Kobyletska ya Polyana	720	4 - 18	30	Cloruradas-bicarbonatadas-sódicas. Bromo, Yodo, Arsénico	Baños	Del aparato locomotor, del sistema nervioso periférico
	Konci-Zaspa	2 300	6 - 19	1.3	Sulfatadas-cloruradas-bicarbonatadas-cálcicas	Baños	Del sistema cardiovascular, del aparato locomotor, del sistema nervioso periférico

## BIBLIOGRAFÍA

- Armijo, V., J. San Martín, 1994. Radiactividad en las aguas mineromedicinales. Radioterapia, *Curas Balnearias y Climáticas: Talasoterapia y Helioterapia*, (Madrid). Editorial Complutense, (d): 271-277.
- Bogoljubov, W., 1988. Clinical aspect of radontherapy in the USSR. *Phys. Med. Balneol. Klimatol*, (URSS). (17): 59-61.
- Calabrese, E., L. Baldwin, 1997. Quantitatively based methodology for the evaluation of chemical hormesis, *Hum. Ecol. Risk Assess.*, (Estados Unidos). (4): 545-554.
- Cervantes, P., D. González, 1990. Detección de Radón-222 en suelos por Track-Etch, *Reporte CEAC- R. Comisión de Energía Atómica de Cuba*, (Cuba): 12 p.
- Cervantes, P., A. Manchado, 1999. Determinación de Radón- 222 en el Balneario San Diego de los Baños, *Memorias Primer Congreso Nacional de Termalismo*, (Cuba).
- Cervantes, P., A. Moreno, A. Manchado, 1996. Niveles de exposición a las radiaciones ionizantes en el Balneario Elguea de la República de Cuba. *Edición Colección Summa. Ciencias Experimentales Universidad Jaume*, (España): 311-317.
- Edward, J., E. Calabrese, L. Baldwin, 1998. Hormesis as a biological hypothesis. *Department of Environmental Health Perspectives*, (Estados Unidos). (106) Supplement 1: 357-362.
- Felndenger, L., H. Muhlensiepen, V. Bond, C. Sanhars, 1997. An Intracellular stimulation of biochemical control mechanisms, *Health Physics*, (Alemania). (52): 663.
- Fleischer, L., A. Magro, 1979. Radon enhancement in the earth: evidence for intermittent up flows? *Geophysical. Res. Lett.* (Estados Unidos) (6): 361-364.



- Gómez, J., 1994. Medida de niveles de radioactividad en aguas. Estimación de las dosis de radiación producidas. *Tesis de Dr. en Física, Univ. de Cantabria, Facultad de Ciencias, Dpto. de Física Aplicada*, (España): 239 p.
- González, D., P. Cervantes, 1991. Efectividad geológica del Método de Trazas Nucleares en la prospección de Uranio. *Reporte CEAC- R. Comisión de Energía Atómica de Cuba*, (Cuba): 15 p.
- King, C. Y, 1980. Episodic radon changes in surface soil gas along activity faults and possible relation to earthquakes. *Journal Geophysical Res.* (Estados Unidos) (85): 30- 64.
- Kristiansson K., L. Malmqvist, 1984. The depth dependence of the concentration of Ra-222 in soil gas near the surface and its implications for exploration, *Geoexploration*, (Estados Unidos) (22): 17-41.
- Luckey, T., 1998. Radiation Hormesis: Biopositive effect of Radiation, *Radiation Science and Health*, (Estados Unidos): 15 p.
- Nasske, D., B. Gerich, 1985. Dosis fak toren fur inhalation oder ingestion von Radionuklidverbindurgen (Erwachssene), Institut fur Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, ISH – Hoelft (República Federal de Alemania): 63 – 505.**
- S/A, 1981. Limits for inhalation of Radon-222 daughters by workers, ICRP, Ed. Pergamon Press. Oxford, (Inglaterra): (32).**
- S/A, 1998. Low Doses of ionizing radiation incurred at low dose rate. Action Plan 1997-1998, *International Nuclear Societies Council*. (Inglaterra).
- Segovia N., R. De la Cruz, 1989. Radon in soil anomaly observed at Los Azufres geothermal field, Michoacán: a possible precursor of the 1985 Mexico earthquake (Mr. 8.1). *Natural Hazard*, (Estados Unidos) (1): 319-329.
- Soto, J., J. Gómez, 1996. Hormesis por Rn-222 en Balnearios, Trabajo presentado en Congreso de Turismo y Salud, Palacio de las Convenciones, (Cuba).
- Varhegyi A., I. Baranyi, G. Somogyi G., 1986. A model for the vertical soil surface Radon transport in Geogas Microbubbles. *Geophysical Transaction*, (Estados Unidos) (32): 235-253.



## MEDICAL GEOLOGY IN CUBA

**Luis Cruz Rodríguez<sup>(1)</sup>, Bernhard Hochwimmer<sup>(2)</sup> and Olle Selinus<sup>(3)</sup>.**

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca No 1002, carretera central, San Miguel Padrón, Ciudad Habana, Cuba. Email: [luis.cruz@infomed.sld](mailto:luis.cruz@infomed.sld) ; [lcruz@igp.minbas.cu](mailto:lcruz@igp.minbas.cu)

(2) Minerals and Petroleum Department of Primary Industry, Victoria, Australia. Email: [prois@optusnet.com.au](mailto:prois@optusnet.com.au)

(3) Swedish Geological Survey PO Box 670, 75128 Uppsala, Sweden. Email: [olle.selinus@home.se](mailto:olle.selinus@home.se)

## RESUMEN

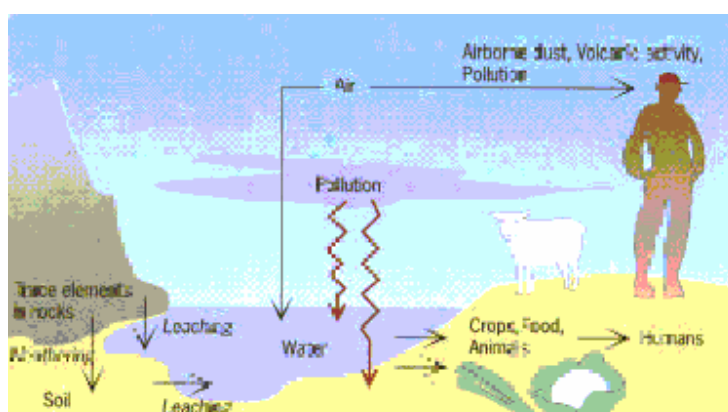
Durante los últimos años se han desarrollado en el mundo temas y conceptos relacionados con la Geología Médica; disciplina cuya misión es enfrentar los problemas de Salud causados o exacerbados por los materiales geológicos (las rocas, minerales y el agua) y procesos - como las erupciones volcánicas, terremotos / tsunamis y el polvo atmosférico (IMGA). Esta información solo gana en importancia si es dominada por los hombres dedicados a las Ciencias de la Tierra, profesionales de la salud, proyectistas y dirigentes que deben tomar decisiones, pues de ser considerada la Geología en la Salud muchos de sus efectos negativos pueden evitarse. Se pretende destacar la importancia de la fusión entre la Geología y la Medicina empleando como metodología los cursos de Geología Médica. Algunos materiales, como notas propias de los autores, reflejan la historia y proyección de la Geología Médica. Se discute sobre los factores de riesgos que pueden ser conocidos y controlados adecuadamente permitiendo en algunos casos la detección y cartografía de los contenidos de elementos y sustancias dañinas a la salud humana. Se analiza que en América Central y del Sur 150 millones de personas están expuestas a elementos como el cobre (IMGA). Se considera a Cuba como un modelo de estructura básica de Salud donde los conocimientos adquiridos en el campo de la Geología Médica son una gran herramienta en manos del especialista comunitario. Se realizan observaciones sobre el desempeño de algunos especialistas cubanos en el desarrollo de la Geología Médica. Se concluye que los problemas geológicos que afectan a la salud humana podrán ser combatidos desde los niveles primarios; donde los médicos de familia enriquecidos en nuevos conocimientos podrían dar respuesta a los problemas de Salud de sus áreas de influencia y confirman con su práctica internacionalista en lugares con alta necesidad de asistencia médica el planteamiento que un mundo mejor es posible.

## ABSTRACT

Many problems of health arise as a consequence of geologic materials and processes such as (rocks, minerals, water, air) and processes, often interconnected; - drinking waters, including ground water, volcanic eruptions, earthquakes / tsunamis, atmospheric dust. This knowledge awakening is not only of greater importance for humanity, it requires dedicated focus by professionals charged with their education and well being. We advocate collaboration of the geological professions with medical doctors, biomedical scientists, and other health professionals, particularly community health educators and decisions makers, to consider better plans for public health. This may be achieved initially by research, *quantifying geological risks* and considering how negative geological processes affect health and how they may be ameliorated or avoided. The solution to the environmental causes of health problems is integration of earth science and health professions. Cuba presents a basic model of structure for the formation of professionals qualified in the Medical Geology field and Cuba has a rich international history of collaboration with other countries and carries out steps in the Geomedicine field. Some 150 Million people in central and South America are at risk of chronic exposure to elements such as Copper (IMGA). This would result in many Cuban trained doctors to project medical geology awareness into local Latin American communities where would flourish the achievable hope that a better world is possible.

## INTRODUCTION

Health problems arising from geological materials and processes are more common than most people believe. Geology may appear remote from human health. However, rocks are the fundamental building blocks of the Earth's surface, full of important minerals and chemical elements. Most elements are taken into the human body in air, food and water. Rocks are broken down by weathering processes to form the soils on which crops and animals are raised. Drinking water travels through rocks and soils as part of the water cycle, and much of the dust and some of the gases contained in the atmosphere are of geological origin. Fig 1.



**Fig 1.** Direct links between geology and health are provided by the food chain and by inhalation of atmospheric dusts and gases.

The health of an estimated three billion people all over the globe may be affected by geology. This is mostly unknown to the public. Information is of greatest importance not only for general public but also for doctors, health professionals, decision makers, and planners. If geology is considered in health planning many negative health effects can be avoided.

Earth and Health, or "Medical Geology", is concerned with the relationship between natural geological factors and human and animal health - as well as with improving our understanding of the influence of environmental factors on the geographical distribution of health problems. Medical Geology brings together Earth scientists and medical/public health researchers to address health problems caused or exacerbated by geologic materials (rocks, minerals and water) and processes such as volcanic eruptions, earthquakes/ tsunamis and atmospheric dust.

Solutions to environmental causes of health problems will be found by integrating Earth science and health professionals. There is an urgent need to apply geochemical and mineralogical techniques to pathology and the study of internal pathways. Both beneficial and harmful aspects of the links between Earth materials and human health need to be more fully understood. In particular, the relation between human health and excesses or deficiencies of elements, ions and key micronutrients such as iodine, selenium, iron,



arsenic, radon and many others including globally widespread but less well-defined agents such as quartz need to be highlighted.

### **Medical Geology is a subject that is not so much emerging as “re-emerging”**

#### **History of Medical Geology**

The relation between rocks, minerals and human health has been known for centuries. Ancient Chinese, Egyptian, Islamic, and Greek texts describe the many therapeutic benefits of various rocks and minerals, as well as the many health problems they may cause. More than 2000 years ago Chinese texts described the use for medical purposes of 46 different minerals. The basic law of toxicology was first laid down by Paracelsus (1493-1541): “All substances are poisons; there is none which is not a poison. The right dose differentiates a poison and a remedy”. Thus, negative biological effects can result from both increasing and decreasing concentrations of various trace elements.

Medical geology has been practiced for thousands of years, probably since the dawn of time when human species and animals utilized mineralized sediments such as salt licks and clays including bentonites to absorb toxins in the gut. Clays are also utilized in agriculture practices. Similarly the skeletal exoskeletons of diatoms are utilized to absorb toxins such as bile in the gut and so increase productivity. This deliberate eating of soil and clays called Geophagia (also called “geophagy”) by animals and humans is considered by many nutritionists to be either a learned habitual response, or as an inbuilt response to nutritional deficiencies resulting from a poor diet. It is known from many ancient and rural societies. It is now the focus of multidisciplinary research including epidemiological studies and risk assessment as a supplier of mineral nutrients such as iron, or potentially harmful elements such as lead or radio nuclei.

Historical and even more recent medical practitioners utilized ancient geological knowledge extensively to treat disease, noting the effectiveness of some metallic minerals. For example melarsoprol, a toxic mixture of arsenic and polyethylene glycol was developed in 1941 and is still the only treatment available for advanced forms of African sleeping sickness caused by an insect transmitted protozoa parasite. Without it sleeping sickness is fatal. However this drug, nick named “Arsenic in antifreeze”, kills one in 20 patients, scarring veins and causing blood vessels to collapse (Hollingham 2005). Ancient societies were also aware that metallic minerals and other geological materials precipitated serious illnesses in certain geographic areas, and that activity such as mining mercury or arsenical gold ores sickened people from metal exposure. They noted some areas were to be avoided or care was needed in areas with ‘sick ground’. More recently this could also be attributed to deficiencies such as iodine in some thin skeletal soils. Communities in upland areas were once commonly afflicted by iodine deficiency, because iodine is easily leached from thin soils in exposed areas with high rainfall.

Knowledge of herbal healing combined with metals was entwined in China, possibly as far back as 6000 years ago. Certain metals were known to increase the effectiveness of herbal formulations. For example the sulfur metabolizing wild garlic was used. Its sulfur metabolism was known to absorb metals over sulphide mineralized ground, even to the point of being used as an assay technique. Gold was extracted from the wild garlic bulb and weighed to assess how likely the ground was economically mineralized. The sulfur metabolizing habit of the wild garlic’s relative, the water hyacinth, has been used to extract dangerous metals from polluted waters. Under optimal hydroponics conditions one hectare

of water hyacinth growing in suitably labile metal laden mine waters, can extract dangerous metals including cobalt and cadmium, and up to 1 kg gold and 1 kg silver every two days.

But these examples highlights the fact that many plants absorb metal's, including radioactive elements, that easily passes into the food chain, such as through milk and young children.

Certain plants take this to the extreme. Pennycress was the first 'hyperaccumulating' plant identified, in 1865. Its odd habits came to light when incinerated ash from plants growing on zinc- and cadmium-rich soils near the Belgian-German border was found to be 17% zinc. The foliage of the yellow-flowered crevice-dweller *Alyssum bertolonii* can contain as much as 1% nickel - two hundred times the level that would kill most plants. Modern research now aims to understanding how such 'hyperaccumulators' manage metals could help revegetate contaminated soils, supplement dietary deficiencies, mop up industrial pollution or even harvest metals from soil.

Today, garlic grown in suitable soils is used as a source of selenium, an important antioxidant. Selenium is an essential element highlighted by the recent discovery of selenium-protein enzymes in humans. DNA defects and variations coding for these selenium enzymes are involved in breast cancer risk. Some selenium enzymes variations require more selenium to be active and reduce this cancer risks. Selenium deficiencies are also implicated in prostate cancer risk in New Zealand. Prostate cancer is an increasing problem and techniques to combat this cancer lag well behind breast cancer, so research into environmental prevention is valuable.

It was only as recent as the 1960's that selenium's essential requirement was suspected in the cause of Keshan Disease, the heart-muscle degenerating condition (chronic cardiomyopathy) known since the 20th Century from NE China. A geological explanation was suspected from very low selenium concentrations in bedrock, soils and natural waters. Kashin-Beck Disease Fig 2. It was also attributed to selenium deficiencies in these areas.



**Fig 2** Kashin-Beck Disease, endemic osteoarthropathy bone ossification:.

Yet the selenium window of health, like many metals, is very narrow. Too much also causes health problems, and both natural and mankind's efforts such as the coal industry

contributes to the complex movement of selenium, and other elements such as fluorine and mercury in the environment. Chronic arsenic poisoning affects people in southern China, patients affected exhibiting typical symptoms including hyper pigmentation, hyperkeratosis, Fig 3, and Bowen's disease.



Fig. 3 Patients affected exhibiting typical symptoms including hyper pigmentation, hyperkeratosis.

Unlike other communities with endemic arsenic poisoning, their problem is not with the drinking water, such as in Bangladesh but with the chili peppers. In parts of Southern China chilli peppers are commonly dried over open coal-burning stoves that use local coal that is very high in arsenic. Fig 4



**Fig 4.** Southern China chili peppers are commonly dried over open coal-burning stoves that use local coal that is very high in arsenic.

While fresh chili peppers contain less than one part per million (ppm) arsenic, those dried over coal fires may exceed 500ppm. Only recently has progress been made through the

assistance of the USGS and the introduction of arsenic testing kits for coal selection by local communities (Finkelman, B., in Selinus et al 2005).

Historical medical practitioners using metallic cures often killed more patients than the disease affecting them! Some elements are absolutely essential but getting the dose right was a delicate balance, foreshadowed by Paracelsus quote "the right dose differentiates a poison from a remedy". Even today, no other available cures exist to some disease and this dangerous balance is made in the treatment of sleeping sickness and some leukemia's with arsenic. However modern research is beginning to elucidate arsenic's cancer paradox, why it can cause some cancers and cure others. A surprising new genetic mechanism has been uncovered that may lead to improved treatments for some kinds of leukemia, and supports the need for strict limits on environmental arsenic exposure. Arsenic suppresses the hTERT gene, which codes for one of the two building blocks of telomerase, an enzyme that keeps the end parts of chromosomes, called telomeres, intact. Reduced telomerase shortened telomeres in dividing cells, causing frequent end-to-end chromosomal tangles. As a result arsenic caused certain kinds of cancer cells to puff up by allowing the chromosomes to join end to end and causing them to die. Cancer cells are basically on the brink of telomere catastrophe. So any inhibition of telomerase can lead to cell death." In the last decade, researchers in China, Europe and the United States found that the compound arsenic trioxide was dramatically effective against acute promyelocytic leukemia (APL) that had become resistant to other chemotherapy (List, A., 2003).

On the other hand this may also explain the cancer-causing effect of arsenic of environmental doses that are very small, but over a long time the accumulation of such chromosomal abnormalities could be important in cancer development. Even very low concentrations appear to be associated with a higher incidence of cancer. People drinking water containing just one part per billion of arsenic have an increased risk of developing bladder or lung cancer of one in 1,000. For 50 ppb - the current permissible level in the US and Europe - the figure is approximately 15 in 1,000. More than 40 per cent of the 1.3 million or so water wells, including 10 million 'backyard wells' in Bangladesh are considered too contaminated with arsenic to provide drinking water. This demonstrates that the modern history of Medical Geology is rather sobering. Fig 5.



**Fig 5.** Bangladesh are considered too contaminated with arsenic to provide drinking water.

## DEVELOPMENT

### **When do geologists communicate with doctors or biomedical scientists and health professionals or educators?**

Hardly, perhaps only when the doctor examines the geologist at the surgery if the geologist contracted thrombocytopenia from arsenical gold mine exposure! Thrombocytopenia, a low platelet disorder now puts our patient at risk of bleeding to death, stroke, leukemia and multiple myeloma. But most doctors don't know what a gold-arsenic ore body is, and so find it difficult to assess risk, and thus assess confounded factors such as *Helicobacter pylori* infections or a plethora of other causes. If these two professions can't get this right, what chance does the public have? What about communities that don't have access to doctors? Even if they do, the doctor may not be aware of low level chronic exposure to certain geological hazards. Maybe the local people have sometimes seen a geologist exploring the land, but is he/she trained in Medical Geology to recognize a regional geological health hazard while working on mineral deposits or a government mapping programs? How can they inform the local government health officials? They may not, if they have not been trained in Medical geology, and developed links in the health professions through this training.

Awareness of the relevance of Medical Geology will first require collaboration between these professions. This will then result in greater public awareness, including the local government / municipality level to reassure the public that health problems arising from natural and industrial geological materials or processes are being addressed. It will also lead to the education of local peoples to practices that need to be changed.

The best way to get these professions communicating and ensure future cross collaboration in research is to have course in medical geology that all doctors, bio-medical scientist, geologists and educators complete together. This would result in many Cuban trained doctors to project medical geology awareness into local Latin American communities. That's very important, some 150 Million people in central and South America are at risk of chronic exposure to elements such as Copper.

The newly forming International Medical Geology Association (IMAG) is paving a way to get greater awareness by first bringing scientists in developed and under developing countries together to address this global issue. One effective way they are doing this is by running international short training courses. Such courses have been highly successful in sharing the most recent information on the relationship between metal ions, trace elements, and their impact on environmental and public health. Course contents include environmental toxicology, environmental pathology, geochemistry, geoenvironmental epidemiology, extent, patterns and consequences of exposures to metal ions, and analytical methods. Such activities will be extended to include research projects involving local scientists in the less developed countries, especially where there is a pressing need to tackle health issues arising from geology. The course content may provide a model for the combined training of geoscientists and biomedical health professionals in Medical Geology.

## DISCUSSION



**The success of the primary attention in the National System of Health is directly related with the doctor's work and the family nurse in the communities.**

From the ethical point of view, the right to the health is a human right, and therefore, correct and valid for all, without discriminations neither exceptions. The World Organization of the Health postulates that the health is a state of complete well-being, physical-mental-social, and not only the absence of affections or make sick". The medicine nowadays cannot be conceived alone to cure the illness and such a conception has been overcome historically. In the contemporary world she has missions of more importance, as promoting, to protect and to conserve the health, trying to prolong to the maximum the human being useful life.

**Strategy for the health publishes**

The family doctor has become fundamental cell of the Cuban sanitary system, and in fact it is the center to develop the strategy of the health it publishes. This model of primary attention constitutes a revolution in the National System of Health and she has acquired relevance in the international environment.

**Health and community**

Doctor practices cannot be cloistered among the walls of the hospital, bound exclusively to the sick individual, but rather he/she embraces in great measure the tasks hygienic-prophylaxes, in connection with the big healthy masses and you make sick to promote health, to avoid illnesses. In Cuba they develop projects of municipal development impelled by the MINSAP and the Pan-American and World organizations of the Health. A healthy person is not that lacking of illnesses, but which enjoys of well-being completely: the physique, psychic and social. This is the most momentous challenge that has the modern public health when requiring of competition of the whole society for the achievement of their objectives. That the man is able to be but full every day is a purpose that is present in the current perspective of the health. Equally, the yearning that the human being, besides living many years can enjoy an existence of but quality. On these principles and based on the community work that is developed in Cuba for years, an important collaboration among the national entity of health publishes (MINSAP) and the Pan-American and World organizations of Health (OPS/OMS) through their representation in the island.

**Cuba, leader of the Latin American medicine**

Cuban medicine is propping in the Latin American medicine. This is the appreciation of foreign specialists of great prestige, who are impressed with the professional level and the educational dedication that one observes in the Cuban hospitals, that which is difficult to find in other countries. They also highlight the vocation of the doctors for their hospital. They also express their admiration for the permanent presence of the medicine students next to the doctors in the intense work days that which speaks very well of the medical teaching in the island.

Cuba carries out some steps in geomedicine field by some people concerned for developing of one better diagnostic of illness.

**International collaboration**



With the typical disordered distribution of the assistance services and the countries without medicine socialized in the one that the doctors concentrate on the big economic centers and in the big cities Cuba has had an active participation in the collaboration with an active participation of their professionals of health. Not only has Latin America reaffirmed the dedication of Cuban professionals of health, but also distant countries where Cuba uses of all its human potential. How will be the awakening of a new world with professionals with high principles of solidarity of the health with knowledge of the Medical Geology? If we achieve this goal we are sure that a better world is possible.

## CONCLUSIONS

Solutions to environmental causes of health problems will be found by integrating Earth science and health professionals. With activities that will be extended to include research projects involving local scientists in the less developed countries, especially where there is a pressing need to tackle health issues arising from geology. The course content may provide a model for the combined training of geoscientists and biomedical health professionals in Medical Geology. Latin America reaffirms the dedication of Cuban professionals of health, for these reason Cuban professionals with high principles of solidarity of the health with knowledge of the Medical Geology would open the doors of a better world.

## REFERENCES

- Author's notes: The introductory and parts of several other sections are taken by permission from: Earth and Health, A Prospectus for a key theme of the International Year of Planet Earth, 2005-2007.
- Dang C., Chou WC. Adler R., 2001. Journal of Clinical Investigation in Arsenic's cancer paradox resolved, , New Scientist (vol 108, p 1).
- Emilia, G., Longo, G., Luppi, M., Gandini, G., Morselli, M., Ferrara, L., Amarri, S., Cagossi, K. & Torelli, G. 2001. Helicobacter pylori eradication can induce platelet recovery in idiopathic thrombocytopenic.
- Hochwimmer, B., 2004. Internal reports on Dart Exploration License, Minerals and Petroleum Department of Primary Industry.
- Hollingham, R., 2005. Article on neglected tropical diseases. New Scientist, p51.
- Journal of Avances Médicos de Cuba. Año X No. 33.
- Selinus O, Centeno J, Finkelman B, Weinstein P, Derbyshire E., 2004. Earth & Health – A Prospectus for a key theme of the International Year of Planet Earth, building a safer environment in Planet Earth, Earth Sciences for Society. (<http://www.esfs.org/downloads/EarthAndHealth.pdf>)
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J., Finkelman, B., Fuge, R., Lindg, U., Smedley. Essentials of Medical Geology.
- Web site <http://www.esfs.org/downloads/EarthAndHealth.pdf> for more details including allied initiatives of the International Year of Planet Earth and (<http://www.medicalgeology.org/>) the IUGS Special Initiative, IGCP#454, Internat. Med. Geol. Assoc. IMGA where many issues in Medical Geology are canvassed.

## GEOLOGIA Y SALUD

Silvia Ma. Yraola Herrero<sup>(1)</sup>, Eduardo Hernández Álvarez<sup>(2)</sup>

(1) *Empresa de Ingeniería y Arquitectura epia once*

(2) *Asociación Nacional de Agricultores Pequeños, Camagüey*

Hoy día podemos afirmar que las civilizaciones antiguas tenían amplios conocimientos sobre el planeta Tierra, su macro y microentorno, ellos la llamaban GAIA y sabían de la existencia de canales energéticos en forma de redes (hoy, Red de Hartman y Curri) sabían como aprovechar la actividad telúrica provocada por los accidentes geológicos y estructurales en las construcciones para influenciar en el equilibrio energético del ser humano.

Más recientes se ha estudiado las bondades de diferentes minerales: Aguas Mineromedicinales, Peloides, Arcillas, Arenas, Zeolitas, cristales de Cuarzo entre otros con fines terapéuticos.

Este trabajo tiene como objetivo valorar la utilización de algunos recursos minerales teniendo en cuenta la posibilidad de utilizarlos como condensadores en la transmisión de energía electromagnética para mejorar la salud y por ende la calidad de vida.

Llamando a la reflexión sobre la relación energética que estos recursos establecen con nuestros órganos y sistemas durante los tratamientos con diferentes terapias. Señalando las características fundamentales de los recursos y sus métodos de aplicación.

Por último un ejemplo práctico del costo beneficio en uno de los tratamientos utilizados.



**Utilización de Peloides  
energizados mediante la  
energía Piramidal**





## **SALUD VS. HABITAT. ESTUDIO DE CASOS**

Lic. Química. Aleida Noda Rubio, Esp. Electrónica. Jesús Acosta Gutiérrez

En la localidad de Peñas Altas, en Guanabo, un estudioso de la radiestesias comienza de súbito a presentar alteraciones de presión, cefalea y mareos. Tras investigar las modificaciones de sus hábitos se encuentra la causa que se propagan del 1ro al 5to piso del edificio donde el vive. Se procede a los estudios que confirman los resultados preliminares.



## CANCER: DISTRIBUCION ESPACIAL Y GEOBIOLOGIA

**Carlos Eduardo Hernández Fuentes<sup>(1)</sup> y Maria A. Padrón Rodríguez<sup>(2)</sup>**

(1) Centro Municipal de Higiene y Epidemiología, calle 62 no 4507 e/t 45 y 47, San Antonio de los Baños, Provincia la Habana, e-mail [carlose.hernandez@infomed.sld.cu](mailto:carlose.hernandez@infomed.sld.cu).

(2) Órgano Local del Poder Popular Ave 41 No. 6015 e/t 60 y 62, San Antonio de los Baños, Provincia de La Habana, e-mail [carlose.hernandez@infomed.sld.cu](mailto:carlose.hernandez@infomed.sld.cu).

### RESUMEN.

El cáncer es un problema de salud mundial, que nos agrede año tras año con su carga de angustia y sus cuantiosos gastos económicos.

El trabajo aborda el estudio del cáncer desde los puntos de vista teórico y práctico: distribución espacial, método epidemiológico y geobiología

Los estudios epidemiológicos aportan la hipótesis de la asociación de un factor etiológico infeccioso con un tipo específico de cáncer, pudiendo tener gran interés para la investigación, la distribución geográfica de los enfermos a través del tiempo en determinadas regiones.

El estudio medioambiental y el cáncer requieren de presupuestos basados en la bioestadística, entrelazados debidamente con los criterios y métodos antes expuestos.

Los diferentes criterios de intersectorialidad, deben conjugarse con el análisis de posibles factores asociados, planteados por la tesis geobiológica de la influencia del suelo en las enfermedades del hombre.

La propuesta de trabajo, que deviene de un proyecto regional, que se ejecuta desde 1994, conlleva a establecer un método combinado donde se interrelacionan la geografía médica, la epidemiología y la geobiología.

Según la propuesta realizada, dentro de los factores condicionantes del estado de salud de la población y entre los factores naturales, deben incluirse los geobiológicos.

Así se establecería un enfoque más riguroso de la vigilancia y el enfrentamiento de la lucha contra el cáncer en la atención primaria de salud, nacional e internacionalmente.

### ABSTRACT

Cancer is a world health problem that hurts us year after year with its local of pain and lots of economic expenses.

This paper covers the study of cancer from the theoretical and practical point of view: spatial distribution epidemiologic method and geobiology.

Epidemiologic studies provide the hypothesis of association of and infections and etiologic factor with specific type of cancer, being very important research the geographic distribution of the sick through time and in certain region.

The environmental study and cancer call for estimates based on the biostatistics, properly related with the criteria and methods previously shown. The different criteria of intersectoriality must agree on the analysis of possible associated factors, expressed by the geobiologic thesis of the soil influence on main illness.

The work proposal coming from regional project we are carrying out since 1994, leader to establish a combined method where medical geography, epidemiology and geobiology are interrelated. As for this proposal within the conditioning factors of health of the population and among the natural factors geobiologic ones are included.

This way, it will be established a more rigorous approach of the checking and facing of the fight against cancer in the primary health attention, either nationally or internationally.



## INTRODUCCIÓN

### Situación del cáncer a nivel internacional

El cáncer es un problema de salud mundial que nos agrede año tras año, con su carga de angustia y gastos económicos, siendo la segunda causa de muerte para nuestro planeta.

A escala mundial se debe al cáncer una de cada diez defunciones. Cada año aparecen en el planeta 10 millones de casos nuevos y mueren por esta causa 7 millones de personas.

Se espera que para el año 2020 aumenten a 15 millones los casos nuevos, el 60% de ellos en países en desarrollo, que cuentan solo con el 50% de los recursos destinados a combatir esta enfermedad.

Actualmente la tercera parte de los cánceres son prevenibles, otra tercera parte es curable si se diagnostican y tratan a tiempo, y en la otra restante puede ser mejorada la calidad de vida del paciente.

### MATERIALES Y METODOS.

Se emplea una base de datos de 15 años de estadística municipal, donde se tiene en cuenta los fallecimientos, la morbilidad y la prevalencia por cáncer, esta última para el cierre del año 2004.

### Conceptualización del método de trabajo.

La experiencia acumulada por nosotros durante más de una década, nos permite recomendar para trabajos futuros el empleo del método Epidemiológico, la Geografía Médica y la Geobiología, conjugados entre sí para obtener posibles zonas de riesgos y geopatógenas para la salud humana (figura 1), y poder llevar la vigilancia epidemiológica del cáncer no solo a nivel del municipio, sino a Áreas de Salud, y más detalladas como a nivel de la cuadra y a la propia vivienda del paciente. (figura2).

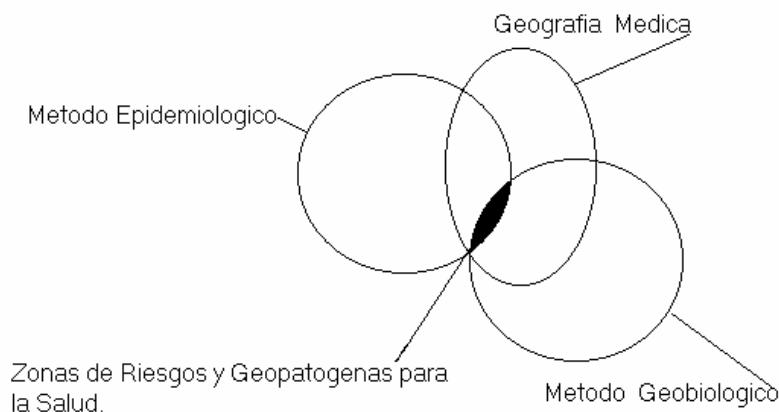
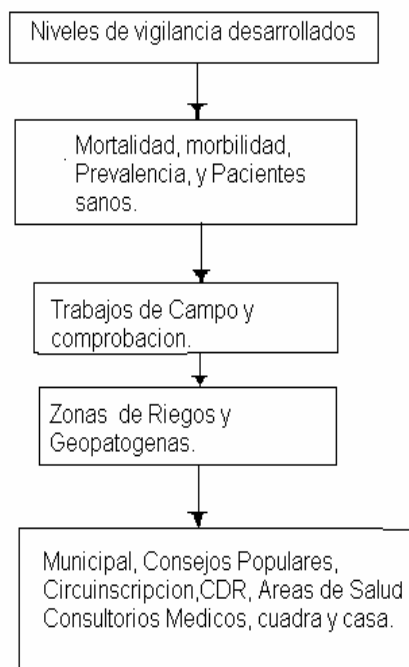


Figura no1



Figura no 2



## RESULTADOS

Se obtiene por vez primera, una investigación aplicada, que tiene como finalidad la búsqueda de nuevos conocimientos dentro del universo de la Salud, para lograr un mejor servicio de salud y el perfeccionamiento de los ya existentes y sus resultados implican la puesta en práctica de nuestro método de trabajo y generalización para todo el país, en los cuales se aportan regionalizaciones geográficas de la mortalidad, morbilidad y la prevalencia por cáncer, permitiendo destacar las zonas de riesgos y geopatógenas para la salud.

## DISCUSION

Justifica proseguir nuestras investigaciones en el futuro, que a pesar de que algunos tipos de neoplasias tienen programas de tamizajes bien definidos, en vez de disminuir su mortalidad, aumentan.

En estos años se ha obtenido la Cartografía, por vez primera, de las zonas de mayor incidencia en la mortalidad y la morbilidad de los principales tipos de cáncer en el municipio y su posible correlación con algunas asociaciones geopatógenas, con el fin de elevar el conocimiento sobre la distribución espacial de las neoplasias a nivel del casco urbano y su relación con el medioambiente.





## **Geobiología y factores que influyen en el estado de salud.**

En todos los textos de Salud vienen bien explicados los factores naturales en que se desarrolla el hombre, los cuales obviamente influyen sobre su salud, las condiciones bioclimáticas y geográficas. Temperatura, régimen de lluvia, humedad, altitud, flora, fauna, condiciones del suelo y el agua, así como los agentes físicos y químicos, los cuales incluyen las radiaciones, el polvo, vibraciones, contaminación del aire, del agua y suelo, ruidos, etc., a pesar que en ellas se habla de las Condiciones del Suelo, se le da aun mayor peso, a las particularidades de su drenaje, para su mayor o menor evacuación de los desechos líquidos, si representa futuras zonas de inundación, etc., obviándose por completo los criterios aportados por el método Geobiológico y los propios campos Geofísicos, de esta forma, prácticamente no se toman en cuenta a los terrenos con altas radiaciones naturales, provocadas por las aguas subterráneas y las zonas mineralizadas, sectores ionizados y los múltiples fenómenos electrolíticos que se llevan a efecto bajos nuestros pies cotidianamente y que a la larga pueden influir negativamente en nuestra salud. Todos estos fenómenos no parecen existir para muchos profesionales y en ocasiones no los toman en cuenta por estar sus tenores en el umbral de las energías de fondo de los terrenos. No percatándose que a pesar de que su intensidad es baja, es un factor asociado que ejerce su influencia cotidiana, en periodos de tiempo prolongados durante toda nuestra existencia.

## **Atención primaria y vigilancia contra el Cáncer.**

La Atención Primaria de Salud en Cuba, tiene como objetivos, la prevención y promoción de la salud en la población, entre otras proyecciones, con tales premisas nos dimos a la tarea de proporcionarle al medico de la familia de nuestro municipio una herramienta que fuera capaz de apoyarlo en vigilancia de la lucha contra el cáncer, que de una forma rápida y eficaz pudiera, a la hora de que realice la dispensarización de los pacientes, clasificar a los grupos de riesgos de cáncer en la población, que pudieran estar enfermos y no saberlo, o estar expuestos a riesgo de enfermar y no saberlo y con ello el medico general integral, pudiera realizar un diagnostico precoz en estas personas, disminuyendo con el tiempo la mortalidad por cáncer, a partir de mapas sencillos con sus tablas, por consejos populares, donde se destacan tipos cáncer mas comunes, mortalidad, morbilidad, población involucrada, la fuerza de la enfermedad, tasas y patrones típicos de la distribución ,etc., situados debajo del cristal de su buró, a tamaño de hojas de cartas .



## CONCLUSIONES

- La inclusión de la Geobiología y los Campos Geofísicos dentro de los factores naturales que pueden desarrollar desordenes de salud en la población a largo plazo, brinda nuevos enfoques a la hora de abordar el tema de salud y enfermedad permitiendo realizar trabajos mas completos en lo que a factores de riesgo se refiere, en las comunidades.
- El trabajo aporta una nueva Conceptualización de trabajo donde se imbrican el método Epidemiológico, la Geografía Medica y la Geobiología, lo cual permite aportar una Regionalización Geográfica mas eficaz, y que el Sistema de Salud aumente, con mayor calidad, la vigilancia requerida en los diferentes programas contra el cáncer, llevando esta vigilancia hasta la propia casa del paciente.

## RECOMENDACIONES

- Con la generalización de este método de trabajo a nivel nacional e internacional se podrán detectar a tiempo pacientes sintomáticos portadores de esta enfermedad, evitándose con ello además del incremento de la mortalidad por cáncer, la perdida potencial de años de vida en la población.
- Según cálculos preliminares, la implementación de este método en la provincia de La Habana, a través de la vigilancia rigurosa del Medico de la Familia permitirá que se pudieran diagnosticar a tiempo el 33% de la población aparentemente sana, ahorrándose por concepto de tratamiento, mas de 2 millones en moneda libremente convertible, con el incremento sustancial de la calidad de vida de estos pacientes.

## BIBLIOGRAFIA

- Alfonso, C., 2003 El problema del cáncer, ¿Como podemos enfrentarlo?, periódico "Trabajadores, 13 de Enero 2003, , p15.
- Stjensward, Jan: El mundo entero contra el cáncer, Rev. Salud Mundial, Octubre 1988.
- Aragonés .N, Pollán, M., Gustavsson, P 2002 Stomach cancer and occupation in Sweeden: 1971-1989.occup.EnvironImned,: 59: 329-337.
- Arniella, A. 2002. Distribución Territorial de los Factores de Riesgo que influye en la Morbilidad por Hepatitis Viral A. en el Municipio Guines, Provincia, Habana, Tesis en opción al titulo Académico de Master en Geografía, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial., p 105.
- Briggs, D.J., K, 1992. Field: Using Geographical Information Sitems to Link Environment and Healt Data, Geographical and Environment Epidemiology, Oxford University, Prev. Oxford 7, 27.
- Carillo, J, L: Nosocomia, 2001: La enfermedad en el tiempo y el tiempo en la enfermedad. En Milenarismo.coords./eds:Ruiz Sánchez, J.L pp 15 –27.Fundación el Monte, ISBN/DL: 84-600-9705-G.
- Desarrollo del Atlas de Cáncer en la India [citada Junio 2003], disponible <http://www.canceratlaindia.org>.



- Esquivel & Asoc.: Historia de la Morinda, 2002 [citado en Junio 2003], disponible <http://www.blessednutrition.com/ns4042-7e.html>.
- Estadísticas Vitales : Distribución espacial en tendencias de la mortalidad por cáncer otras causas [citada junio 2003], disponible [www.uca.es/hospital/atlasanda/biblio.pdf](http://www.uca.es/hospital/atlasanda/biblio.pdf)
- Hernández, C., de la Caridad, N: Representaciones Cartográficas de las enfermedades de transmisión Sexual mediante la Conceptualización de Áreas, segunda etapa del XIII Fórum de Ciencia y Técnica, San Antonio de los Baños, p11, 2000.
- Hernández, C., Sierra, O:1999. Atlas Dinámico de la Salud, CMHE; San Antonio de los Baños, p110.
- Hernández, C., Sierra, O: 2001. Comportamiento y Distribución Espacial de la Hepatitis A en el año 2000, en el Municipio de San Antonio de los Baños, CMHE, p7, 1ra Etapa XIV Fórum de Ciencia y Técnica.
- Hernández, C., Sosa, V., Amaro, J.F., García, L. 2001: Cartografía y Análisis de los Focos de *Aedes aegyptis* en el Trienio 1999 – 2001, San Antonio de los Baños, 2001, p54. II Simposio Internacional de Vigilancia y Lucha Antivectorial, 11 – 13 de Septiembre del 2001. Centro de Convenciones Plaza América.
- Hernández, C.E, Padrón, M., Piñeiro, J.I:2003. "Más de una Década de Muertes por Cáncer, su Distribución Espacial y Posibles Zonas Geopatógenas". 2do Taller Internacional de Geobiología y Radiestesia, 24 – 28 de Marzo, Hotel Nacional, Ciudad de la Habana, p44.
- Hernández, C: Curso Introductorio de la Radiestesia. San Antonio de los Baños. Provincia de la Habana, 1999, p30.
- Hernández, C. Distribución Espacial Territorial de los Fallecimientos por Cáncer, Municipio de San Antonio de los Baños, 1999-2000. Trabajo de tesis para optar por el diplomado Nacional de Epidemiología.
- Lopez-Abente, G., Ibáñez, C.:2002 Analysis of Cancer mortality via spatial point processes En Mateu, J., Montes, F: Spatial Statistics Through applications. Advances in Ecological Sciences vol 19.
- Lopez-Abente.G, 2002 Ponencia: El Cáncer en España. Patrones geográficos, tendencia temporal y prioridades de intervención, Simposio Internacional Avances en Biología Tumoral. Instituto Universitario de Oncología del Principado de Asturias.
- Molina, E, Barceló, C., Bonito, L., Puerto, C: Factores de riesgo de cáncer pulmonar en Ciudad de la Habana, Revista de Higiene y Epidemiología, 1996, 34 (2):81-90, julio-dic. Disponible sacu id: 2668:infomed.
- Morales, M., García, J., Salanas, I., Pila, R.: Cáncer y su relación con la ocupación laboral, Camaguey, s.n, 1991, p10, disponible sacu,id:378,infomed.
- Nieto-García, M. A., Ruiz Ramos. M, Mayoral, J. M: Mortalidad por cáncer de estomago en Andalucía. Tendencia y distribución, aten. Prim. Vol 28 .num. 10 .2001pp366-370.issn1020-4989.
- OPS. Uso de los sistemas de información geográfica. En Epidemiología (CIG- EPI), Boletín Epidemiológico, Vol17, No,1, Marzo de 1996,p 10.
- Pearson, D: El Libro de la Casa Natural. Ediciones Integral, Barcelona, p250, 1991.
- Pérez, M: Análisis Estadístico de la Mortalidad por Cáncer. San Antonio de los Baños, Provincia de la Habana, Cuba, 1998, p12.
- Policies and mangerial Guidelines for National cáncer Control Programs. Rev. Panam Salud Pública, Noviembre 2002, vol. 12, No. 5, p366-370. ISSN 1020-4989.
- Tomos de las Defunciones de los años 1990 al 2000. Registro Civil del Municipio de San Antonio de los Baños, Provincia de la Habana, Cuba.
- Tratamiento Alternativo, medicamento herbal para ayudar a contrarrestar el crecimiento del cáncer. [citado Junio 2003], disponible [www.cancerherbario.com](http://www.cancerherbario.com).2003.
- Voisin, A.: Suelo, hierba, cáncer. Editorial Tecnos, S.A., Madrid, p421, 1961.
- Atlas de la incidencia de cáncer en Inglaterra y Gales, 1968 – 1985 [citada Junio 2003], disponible [www.adda//.com/browne/detail/o192619934.html](http://www.adda//.com/browne/detail/o192619934.html).
- Atlas de la incidencia de cáncer en Suiza [citada Junio 2003], disponible [www.roc.se/atlas.html](http://www.roc.se/atlas.html).
- Atlas de la mortalidad de cáncer en la Europa Central [citada Junio 2003], disponible [www.oup.co.uk/isbn/92-832-2134-6](http://www.oup.co.uk/isbn/92-832-2134-6).



Atlas de mortalidad por cáncer y sistema de información geográfica: 1950 – 1994, [citada Junio 2003], disponible [surveillance.cancer.gov/disparities/atlas.html](http://surveillance.cancer.gov/disparities/atlas.html).

Atlas of Cancer Mortality in the United States, 1950 – 1994, [citada 2003 June], disponible Conspusgw Library. [Conel/edu/e.reference/desc/3990.html](http://Conel/edu/e.reference/desc/3990.html).

Lista Internacional Abreviada para la Tabulación de las Causas de Muerte, Manuscrito mecanografiado CMHE, San Antonio de los Baños, p7, 2002.

INHEM: Asociación entre la contaminación atmosférica y otros factores ambientales en la ocurrencia del cáncer de pulmón en la Ciudad de la Habana, Programa de Salud Ambiental, Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, oct, 1992, p7 – 11 disponible [sacu.id2833,infomed](http://sacu.id2833.infomed).

MINSAP: Anuario Estadístico, la Habana, 2002.



## EVIDENCIAS SOBRE LA HORMESIS POR RADÓN-222 EN EL BALNEARIO ELGUEA. CUBA.

Ángela Manchado Martín <sup>(1)</sup>, Pablo de Jesús Cervantes González <sup>(1)</sup> y Leandro Lantigua Obregón <sup>(2)</sup>.

(1) Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional. Calle 44 esq. a Ave. 5ta, Miramar, Playa, Ciudad de la Habana, Cuba. Email: angelamanchado@infomed.sld.cu

(2) Centro Termal Elguea. Corralillo, Villa Clara, Cuba. Teléfono: 042 686292.

### RESUMEN

Elguea, Centro Termal ubicado al norte-centro de la Isla de Cuba, posee, como recurso natural termal importante, aguas mineromedicinales radiactivas que son surgentes a través de un sistema de fallas geológicas y están asociadas a la anomalía radiactiva más intensa (U, Th, K) localizada, hasta el momento, en la superficie del país, tiene un control tectónico y está asociado a sedimentos carbonatados de edad Cretácico.

Las concentraciones de Radio-226 y Radón-222 en agua alcanzan los  $0.879 \text{ nCiL}^{-1}$  y  $5.96 \text{ nCiL}^{-1}$  respectivamente, debido a lo cual se han realizado estudios dosimétricos durante años con el objetivo de controlar las Dosis Efectivas a las que están expuestos pacientes y personal profesional que labora en la instalación, partiendo de la exposición a la concentración de Radón-222 en aire de hasta  $1.43 \text{ nCiL}^{-1}$ . Estos estudios realizados en el Balneario Elguea, brindan evidencias sobre los efectos horméticos (excitantes) del Radón-222 en el hombre, o sea, la respuesta biopositiva del humano ante agentes geobiológicos activos (radiaciones ionizantes) en bajas dosis. Los resultados de los chequeos médicos sistemáticos efectuados al personal que labora en el centro manifiestan que los índices de comportamiento de las enfermedades que pueden ser provocadas por la exposición continua a elevadas dosis de radiación ionizante y de aquellas que pueden ser inhibidas por las mismas, mediante la estimulación de diferentes funciones fisiológicas del organismo humano, son nulos o muy bajos.

### ABSTRACT

The Elguea Spa is located on the North Center Cuban Island and the most important thermal natural resource is the radioactive ground water, natural hot spring correlated with geological faults systems and anomalous values of uranium, thorium and potassium contents. This gamma anomaly is the most intensity of Cuba and is associated with Cretaceous limestone.

Radio-226 and Radon-222 concentrations in water sample were up to  $0.879 \text{ nCiL}^{-1}$  and  $5.96 \text{ nCiL}^{-1}$  respectively. For this reason during the last ten years has been achieved many dosimetric studies for the Effective Dose Control of the Spa's professional workers. The air Radon-222 indoor concentration was up to  $1.43 \text{ nCiL}^{-1}$ .

Dosimetric studies carry out indoors Elguea Spa brings up evidences about Radon-222 hormetic effect (excite) in human at low dose radiation. The systematic medical observation results over professional workers continuity exposed at high dose radiation indicated very low indicators of negative human health effects.

### INTRODUCCIÓN

En las últimas cuatro décadas, sin contar los esfuerzos desde tiempos remotos como en los que se desempeño Paracelsus, el padre de las dosis infinitesimales, hace más de 400 años, el cual se basaba en el principio de que "La dosis hace al veneno" ó "La dosis exacta diferencia a un veneno de un remedio": Científicos de las más diversas nacionalidades han trabajado arduamente para brindar evidencias experimentales o empíricas sobre la no-linealidad entre las



dosis-respuesta a las radiaciones de bajo nivel de dosis o de bajas tasas de dosis, enfrentando la hipótesis LNT (linear no-threshold), que plantea la existencia de una relación lineal sin umbral alguno, entre las dosis de radiación y su respuesta más irreversible en el ser humano (el cáncer), para todos los tipos de radiaciones ionizantes.

Recientemente, en Noviembre del 2000, se efectuó, en Washington, EU, una reunión con la participación de médicos y especialistas en radiación de Alemania, Canadá, China, Estados Unidos, Polonia y el Reino Unido, en cuyo marco se presentó la evidencia experimental de que las suposiciones básicas actuales de la protección frente a las radiaciones: "todas las exposiciones a la radiación crean riesgos en las células expuestas" y "los efectos de las exposiciones son linealmente proporcionales a las dosis, sin ningún umbral", **no se cumplen a bajas dosis y a bajas tasas de dosis.**

Investigadores en el tema como Stebbing y Luckey han publicado unos 400 artículos sobre Hormesis con distintos agentes bioactivos y en especial con las radiaciones, donde han expuesto sus resultados en animales y en humanos, estos últimos, realizados con sobrevivientes japoneses a las explosiones atómicas, personal profesionalmente expuesto en las centrales electrónicas, observadores de explosiones atómicas en el aire y sobrevivientes de Chernovil, que ponen de manifiesto un efecto biopositivo de las radiaciones de baja dosis en el organismo humano.

En nuestro país contamos con 2 balnearios: San Diego de los Baños y Elguea, en cuyas aguas está presente el elemento bioactivo Radón-222 (elemento radiactivo). Durante años en estos balnearios se han realizado las determinaciones de la concentración de este gas noble, el cálculo de las Dosis Equivalentes Efectivas a las que son sometidos los pacientes y el tratamiento de diferentes afecciones a la salud del ser humano.

Por lo que en el presente trabajo se brindan evidencias sobre los efectos horméticos estudiados en el personal profesionalmente expuesto continuamente a las radiaciones alfa provenientes del Radón-222 que está contenido en las aguas mineromedicinales. Este personal ha recibido durante 5 años o más, dosis acumulativas por exposición a la radiación alfa que van desde 0.8 Sv hasta 5.6 Sv.

Los resultados de los chequeos médicos sistemáticos efectuados al personal que labora en el Balneario Elguea manifiestan que los índices de comportamiento de las enfermedades que pueden ser provocadas por la exposición continua a elevadas dosis de radiación ionizante y de aquellas que pueden ser inhibidas por las mismas, mediante la estimulación de diferentes funciones fisiológicas del organismo humano, son nulos o muy bajos.

No obstante, a pesar de la pequeña muestra de estudio que hemos tenido a nuestra disposición pero debido a que este personal se somete a chequeos médicos sistemáticos, podemos inferir que los tratamientos con bajas dosis de radiación a que son sometidos los pacientes provocan efectos beneficiosos en su estado de salud general y aumentan su calidad de vida.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Concepto de Hormesis y principales efectos.

Hormesis del griego "hormo" que significa "yo excito", es la estimulación de cualquier sistema por dosis bajas de un agente bioactivo, este término fue sugerido por Southam y Erlich [Luckey, 1998] para denominar así a la concentración efectiva de compuestos fenólicos aplicados en las





maderas de los árboles la cual los protegía del ataque de hongos. Actualmente la Hormología es el estudio de la excitación. Toda la teoría que se ha desarrollado al respecto esta basada en el principio de que "bajas dosis de determinados agentes bioactivos provocan un efecto biopositivo y que elevadas dosis de los mismos agentes provocan un efecto bionegativo".

Con relación a las radiaciones que es el caso que nos ocupa, varias funciones fisiológicas muestran hormesis por radiación, encontrándose entre ellas: el crecimiento [Stebbing, 1982], el desarrollo neuromuscular, el aumento de la agudeza auditiva y visual, el aprendizaje y la memoria, la fecundidad, la competencia inmunológica [Townsend, 1960], la disminución de la mortalidad por cáncer y la longevidad [Luckey, 1998]. También y de mucha importancia, numerosas investigaciones indican hacia la estimulación de respuestas metabólicas y fisiológicas como son la síntesis de: metalotionina, ADN, ARN, estrés proteico; generación de tejidos y consumo de oxígeno. [Calabrese, 1997].

Experiencias con dosis riesgosas de Radón-222, en el tratamiento de diferentes patologías en balnearios de Rusia, son expuestas por Bogoljubov en sus artículos.[Bogoljubov, 1988]

Nuestras experiencias en los balnearios con el Radón-222 han seguido las recomendaciones de la Balneología Europea [Armijo, 1994] que especifican el uso de las aguas radioactivas en el tratamiento de las siguientes afecciones del organismo humano:

Procesos inflamatorios crónicos:	Disminuye tumefacciones articulares y los dolores.
Procesos respiratorios:	Bronquitis, Rinofaringitis, asma.
Afecciones digestivas:	Gastritis dolorosas, Enterocolitis, estados espásticos.
Afecciones dermatopáticas:	Dermatosis pruriginosas, úlceras, heridas atónicas.
Procesos inflamatorios ginecológicos crónicos:	Disminuye las inflamaciones.
Afecciones nerviosas:	De índole funcional, Neurosis.
Afecciones renales:	Nefropatías albuminúricas.
Afecciones circulatorias:	Trastornos circulatorios no orgánicos.

De las anteriores aplicaciones se han tenido resultados, con validación médica y/o clínica de la respuesta, en las patologías que se muestran en la Tabla No. I.

### Estudios Dosimétricos.

Los estudios dosimétricos tienen el objetivo de determinar las Dosis Equivalentes Efectivas por exposición a radiaciones ionizantes provenientes del Radón-222 que reciben los "curistas" y personal profesionalmente expuesto en las instalaciones balneológicas.

Por otra parte, es de mucha utilidad conocer qué dosis utilizaremos en los diferentes tratamientos con aguas radioactivas, en las distintas afecciones del ser humano y si ésta dosis se mantiene por debajo del límite superior permisible anual.

**Tabla No. I Existencia de resultados con validación médica y/o clínica en el balneario Elguea.**

No.	Patologías ó afecciones	Balneario Elguea.
1	Procesos inflamatorios	X



	crónicos	
2	Procesos respiratorios	X
3	Afecciones digestivas	X
4	Afecciones dermopáticas	X
5	Procesos inflamatorios ginecológicos crónicos	
6	Afecciones nerviosas	X
7	Afecciones renales	
8	Afecciones circulatorias	X

En los tratamientos balneológicos con aguas radioactivas aprovechamos los “efectos horméticos” del Radón-222, el cual, en concentraciones de bajos niveles produce efectos beneficiosos en el organismo humano.[Soto, 1996]

Las curas más usuales con aguas radioactivas son la hidroterapia combinada con la inhalación y la hidropínica mediante la ingestión de cantidades dosificadas de estas aguas. Debido a esto, los cálculos de la Dosis están dirigidos a la “Dosis por Inhalación de Radón-222” y “Dosis por Ingestión de Radón-222” [Cervantes, 1996; Gómez, 1994].

El cálculo de la Dosis Equivalente Efectiva se fundamenta en la utilización de “Factores de Conversión” determinados en Modelos Dosimétricos que simulan los diferentes “órganos críticos” del cuerpo humano.[Gómez, 1994 y Nasske, 1985]

## RESULTADOS

Los Factores de Conversión [Nasske, 1985] son aplicados a las concentraciones de Radón-222 determinados en agua y a la concentración de Radón-222 determinada en el aire de las instalaciones balneológicas, obteniendo como resultado las Dosis Equivalentes Efectivas en el “cuerpo entero” la cual se compara con los “Límites de Dosis Permisibles” que fijan los organismos internacionales de protección a las radiaciones ionizantes.

En la Tabla No. II se presenta la Dosis Equivalente Efectiva a la que está expuesto el personal profesional del Balneario Elguea [Cervantes, 1996].

**Tabla No. II – Dosis Equivalente Efectiva. Balneario Elguea.**

Vía de incorporación.	Cuerpo entero (Sv año <sup>-1</sup> )
Inhalación de Radón-222	0.32

Como se puede apreciar en la Tabla, la Dosis Equivalente Efectiva, a la que está expuesto el personal profesional son elevadas y muy superiores a los 50 mSv año<sup>-1</sup> que regulan las organizaciones internacionales de protección a las radiaciones ionizantes particularmente la ICRP (International Commission on Radiological Protection) [Gómez, 1994]. También estos organismos definen los niveles de “baja dosis” como el total de dosis recibida menor que 10 mSv año<sup>-1</sup> a una elevada tasa de dosis en un evento separado o menos de 20 mSv año<sup>-1</sup> para una dosis recibida continuamente.

No obstante todos estos límites máximos permisibles están bajo discusión científica ya que no toman en consideración el tipo de radiación, considerándose por muchos autores que para la radiación alfa existe un límite de baja dosis, que puede llegar hasta los 4000 mSv año<sup>-1</sup>,



tomando en consideración la dosis que puede ser físicamente depositada en una célula aislada[Edward, 1998 y Felnendenger, 1997], planteado en un análisis sobre las bajas dosis, del Task Group del INSC (International Nuclear Societies Council, 1998).

## DISCUSIÓN

### Chequeos médicos.

Con el objetivo de presentar un análisis de la relación dosis-respuesta sobre el personal profesionalmente expuesto a inhalación continua de Radón-222 en el balneario Elguea, nos planteamos a priori, para cada afección, los signos o parámetros médicos que manifiestan una respuesta bionegativa y/o biopositiva, que permitan una validación del personal expuesto.

Las afecciones que estudiamos, son aquellas, en las que tenemos una mayor probabilidad de que han respondido al estímulo de la acción del Radón-222, bien de riesgo máximo como es el cáncer, deformaciones hereditarias en descendientes así como, afecciones que pueden ser inhibidas mediante la estimulación de diferentes funciones fisiológicas como son: anemias, desórdenes nerviosos y esterilidad.

**Tabla No. III Resultados de los chequeos médicos del personal profesionalmente expuesto a la acción del Radón-222 en el Balneario Elguea de Cuba.**

N/O	Años de trabajo	Dosis Efectiva (Sv)	Tamaño muestra	Fumador		Chequeos médicos		A	B	C	D	E	F
				sí	no	anual	sem						
1	0-5	8.3	2	-	2	2	-	0	0	0	0	0	0
2	5-10	25.0	5	-	5	4	1	0	1	0	0	0	0
3	10-15	41.7	5	1	4	4	1	0	0	0	0	0	0
4	15-20	58.3	1	1	-	1	-	0	0	0	0	0	0
<b>Totales</b>			13	2	11	11	2	0	1	0	0	0	0
<b>Indicadores de comportamiento</b>						0.85	0.15	0	0.08	0	0	0	0

Simbología correspondiente a la Tabla:

- A: Anemias frecuentes
- B: Asma bronquial
- C: Estados gripales
- D: Tuberculosis
- E: Cáncer
- F: Muerte por cáncer

Como podemos apreciar en la Tabla No. III, el personal profesionalmente expuesto en el Balneario Elguea, sometido a chequeos médicos sistemáticos durante sus años de trabajo presenta índices de comportamiento nulos o muy bajos en las afecciones de elevado riesgo al estar expuestos continuamente a altas dosis de radiaciones ionizantes y en las que son inhibidas debido a la estimulación de funciones fisiológicas del organismo humano por las radiaciones ionizantes.



## CONCLUSIONES

- ❖ El personal profesional del Balneario Elguea está expuesto continuamente a elevadas Dosis Efectivas de radiaciones ionizantes.
- ❖ Los chequeos médicos sistemáticos manifiestan bajos índices de comportamiento de afecciones a la salud.
- ❖ No se han detectado hasta el momento casos de cáncer en la muestra estudiada.
- ❖ No se han detectado hasta el momento afecciones hereditarias en descendientes.
- ❖ No se han detectado hasta el momento casos de esterilidad masculina o femenina en la muestra estudiada.
- ❖ Los efectos hematopoyéticos y relajantes, estimulados por la exposición a las radiaciones alfa están presentes en la muestra estudiada.
- ❖ Los resultados obtenidos permiten inferir la existencia de efectos horméticos por Radón-222 en el Balneario Elguea.
- ❖ Seleccionar un 20 % de la muestra estudiada con el fin de someterlas a estudios citogenéticos para determinar: presencia de aberraciones cromosomáticas y detección de micronúcleos.
- ❖ Extender estas investigaciones sobre el personal profesionalmente expuesto a otros Balnearios de Cuba y Latinoamérica que posean aguas radiactivas.
- ❖ Continuar con los chequeos y control médico sistemáticos del personal profesionalmente expuesto en este Balneario.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Armijo, V., J. San Martín, 1994. Radiactividad en las aguas mineromedicinales. *Radioterapia, Curas Balnearias y Climáticas: Talasoterapia y Helioterapia*, (Madrid). Editorial Complutense, (d): 271-277.
- Bogoljubov, W., 1988. Clinical aspect of radontherapy in the USSR. *Phys. Med. Balneol. Klimatol*, (URSS). (17): 59-61.
- Calabrese, E., L. Baldwin, 1997. Quantitatively based methodology for the evaluation of chemical hormesis, *Hum. Ecol. Risk Assess.*, (Estados Unidos). (4): 545-554.
- Cervantes, P., A. Moreno, A. Manchado, 1996. Niveles de exposición a las radiaciones ionizantes en el Balneario Elguea de la República de Cuba. *Edición Colección Summa. Ciencias Experimentales Universidad Jaume*, (España): 311-317.
- Edward, J., E. Calabrese, L. Baldwin, 1998. Hormesis as a biological hypothesis. *Department of Environmental Health Perspectives*, (Estados Unidos). (106) Supplement 1: 357-362.
- Felnendenger, L., H. Muhlensiepen, V. Bond, C. Sanhars, 1997. An Intracellular stimulation of biochemical control mechanisms, *Health Physics*, (Alemania). (52): 663.
- Gómez, J., 1994. Medida de niveles de radioactividad en aguas. Estimación de las dosis de radiación producidas. *Tesis de Dr. en Física, Univ. de Cantabria, Facultad de Ciencias, Dpto. de Física Aplicada*, (España): 239 p.
- Luckey, T., 1998. Radiation Hormesis: Biopositive effect of Radiation, *Radiation Science and Health*, (Estados Unidos): 15 p.



- Nasske, D., B. Gerich, 1985. Dosis fak toren fur inhalation oder ingestion von Radionuklidverbindurger (Erwachssene), Institut fur Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, *ISH – Hoelft* (República Federal de Alemania): 63 – 505.
- S/A, 1981. Limits for inhalation of Radon-222 daughters by workers, ICRP, Ed. Pergamon Press. Oxford, (Inglaterra): (32).
- S/A, 1998. Low Doses of ionizing radiation incurred at low dose rate. Action Plan 1997-1998, *International Nuclear Societies Council*. (Inglaterra).
- Soto, J., J. Gómez, 1996. Hormesis por Rn-222 en Balnearios, Trabajo presentado en Congreso de Turismo y Salud, Palacio de las Convenciones, (Cuba).
- Stebbing, A., 1982. Hormesis, the stimulation of growth by low levels of inhibitors, *Science of the Total Environment*, (Inglaterra). (22): 213-234.
- Townsend, J., T. Luckey, (1960). Hormoligosis in pharmacology, *Journal Am. Med. Assoc.* (Inglaterra). (173): 44-48.



## **CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN NUESTRO ENTORNO HABITABLE**

Héctor Manuel Fernández Núñez

*Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 No. 11901 e/ 119 y 127. Marianao, Ciudad de la Habana, Cuba, Email: [hector@civil.cujae.edu.cu](mailto:hector@civil.cujae.edu.cu), [geohector@yahoo.com](mailto:geohector@yahoo.com)*

Desde años recientes se vienen realizando experimentos sobre la influencia de los campos electromagnéticos en la salud humana, que desde los estudios de Wertheimer y Leeper a la actualidad vienen aportando prueba sobre su influencia nociva. Sin embargo estas investigaciones reducen el espectro peligroso de las radiaciones electromagnéticas a las frecuencias extremadamente bajas no tenidas en cuenta por las normas internacionales que están muy por encima. Estos trabajos se centran en los focos de emisores de radiaciones electromagnéticas de extremada baja frecuencia, fundamentalmente las redes de distribución eléctrica tanto de, alta, de media y baja tensión así como de los equipos electrodomésticos que se encuentran en las viviendas y en los centros de trabajo. Por todo lo anterior se hace necesario tener conocimiento del comportamiento del campo electromagnético en nuestro entorno habitable. En nuestro trabajo se realizó una medición detallada de los campos electromagnéticos de baja frecuencias presentes en varias viviendas y se analizaron los elementos de riegos del entorno y su posible influencia en la salud de sus moradores. Se midieron la distancia de riesgo de los focos emisores considerando como peligrosos los campos electromagnéticos mayores que 2 o 3 miliGauss donde se adquiere una exposición más prolongada en el tiempo. En este estudio se demuestra que existen elementos de riegos que no se tienen en cuenta dentro de una vivienda y que pueden ser fácilmente controlados, igualmente se demostró que los campos electromagnéticos de nuestro hábitat pueden ser cartografiados, permitiendo una mejor comprensión de su influencia.





## INFLUENCE OF ALUMINIUM ON DELTA - AMINOLEVULINIC ACID DEHYDRATASE ACTIVITY IN ERYTHROCYTES

Dale Baranauskiene, Rima Naginiene, Rima Kregzdyte, Stasys Ryselis, Olegas Abdrachmanovas, Leonid Ivanov, Ilona Sadauskiene

Institute for Biomedical Research, Kaunas University of Medicine, Eiveniu 4, LT-50009 Kaunas, Lithuania, E-mail: [baranauskiene@bmti.kmu.lt](mailto:baranauskiene@bmti.kmu.lt)

**Introduction.** Aluminium is the third abundant element in the Earth crust. It has been thought it's not toxic though more and more data raise questions about hazardous effects of this metal. Different aluminium salts administered via different routes can produce toxic effects in animals. These effects involve alterations in enzymatic activities and may induce encephalopathy in humans and animals. It has been showed aluminium can cause microcytic anaemia by direct effects on heme biosynthesis, specifically alterations in the activity of delta-aminolevulinic acid dehydratase (d-ALAD). Therefore d-ALAD is considered as one of the most reliable biomarkers of hazardous effects of lead. The purpose of this investigation was to study the effects of aluminium ions on the activity of delta- aminolevulinic acid dehydratase in mice erythrocytes *in vivo*.

**Material and methods.** The experiments were performed on white laboratory mice. Adult mice were injected with a single dose 0.5 LD<sub>50</sub> aluminium chloride (1<sup>st</sup> group), 1.56 mg/kg zinc sulphate plus 0.5 LD<sub>50</sub> aluminium chloride (2<sup>nd</sup> group), and 1.56 mg/kg zinc sulphate (3<sup>rd</sup> group). The results were compared to control group of mice (4<sup>th</sup> group). The delta-ALAD activity in mice erythrocytes was measured after 16 hours by spectrophotometer. The content of Zn and Al in whole blood was performed by AAS Perkin - Elmer Zeeman 3030. To assess the influence of lead on enzyme activity the lead concentration was determined as well.

**Results.** The established concentrations of metals in blood and erythrocytes d-ALAD activity are presented in Table 1.

Table1. The content of metals and activity of erythrocytes d-ALAD activity in mice *in vivo*.

Indices	Concentration (mean (SD)); µg/dl			Activity (mean (SD)); nmol/l/s
	Al	Zn	Pb	d-ALAD
1 <sup>st</sup> group (Al)	8.08 (6.08)	546.31 (133.01)	0.73 (0.45)	211.20 (78.00)
2 <sup>nd</sup> group (Zn + Al)	12.20 * (9.64)	451.58 (139.96)	1.45 (1.17)	235.67 (95.82)
3 <sup>rd</sup> group (Zn)	5.17 (5.06)	527.64 (38.13)	1.04 (0.94)	185.72 (87.26)
4 <sup>th</sup> group (control)	3.55 (2.98)	455.81 (63.20)	0.57 (0.42)	202.47 (45.49)

\* the significant (p<0.02) difference between control group

The established lead content in blood probably didn't alter the enzyme activity. Also, our study revealed no influence of aluminium on d-ALAD activity in mice erythrocytes. However the influence of Al will be studied in more details further in ongoing studies using different experiment design – measurements of enzyme activity in different time frame after injection and different organs. Conclusions. No effects of aluminium at given concentrations on the activity of delta- aminolevulinic acid dehydratase in mice erythrocytes were established.



## METHODS AND FACILITIES FOR THE ASSESSMENT OF THE RADON-HAZARD POTENTIAL

Komov I.L.

*Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Ukraine of emergencies and affairs of population protection from the consequences of Chernobyl catastrophe 34a, Palladin av., Kyiv-142, 03680, Ukraine. E-mail: Leon@voliacable.com*

International experience about of radon has been generalized in this paper. New testing devices are offered. Indoor  $^{222}\text{Rn}$  concentrations and also the radioactivity of building material and drinking water are described. The map radon-hazard potential in the Kyiv city is developed with used a method that recognized geologic factors influencing indoor-radon levels. Three factors to evaluate radon hazard potential: types of rock, fault zones, uranium concentration, soil permeability, and depth to ground water. Radon-hazard-potential maps are useful to organize and prioritize testing in existing buildings and to indicate where radon-resistant construction should be considered in new buildings. Methodical the characterization of radon sources and of the indoor concentrations and behavior of radon and its progeny, the development and testing of control techniques, and the modeling of radon and its progeny in structures are developed. The ratio, which connects of radon in air of accommodations with the measured concentration of aeroions and with multiplicity of air exchangeness, was obtained. On the basis of the experimental materials of the researches of radon and aeroions concentration and mobility the regularities was established. The detection in an accommodation of the anomalously high level of aeroions can testify about the presence in the concrete accommodation of the sources of the ionizing emission and, first of all, radon. The complex investigation of the interaction of radon and aeroion fields makes it possible to estimate the action of radon on people, and also to trace the ways for the suppression of the flows of radiation. A number of methods for reduce elevated radon levels in a home are offered. These methods fall into two categories: (1) preventing radon from entering the house, and (2) removing radon (or decay products) after entry.



## EMERGING HEALTH ISSUES ASSOCIATED WITH ARSENIC AND FLUORIDE RICH GROUNDWATER IN INDIA

**S. K. Sharma.**

24 National Road, Dehradun 248001, India E-mail: SKS105@rediffmail.com

**Introduction:** Major problems are being faced by the country due to the presence of excess arsenic and fluoride in groundwater in certain parts of country. Arsenic and Fluoride problems are wide spread in the entire country. Nearly 66 million people face the risk of which an estimated 6 million are children. Arsenic poisoning or arsenicosis due to the presence of arsenic in the Quaternary deltaic alluvial aquifer region of West Bengal and endemic fluorosis related with the presence of fluoride in water is a public health problem in India. It is unfortunate that out of nearly 1 billion, about 62 millions Indians have no access to safe drinking water and they are compelled to consume the untreated and unhealthy arsenic and fluoride rich water easily accessible to them without knowing the ill affects of such consumption. **Materials and Methods:** The World Health Organization (WHO) specifies limits of 0.05 mg/l arsenic and less than 0.01 mg/l is desirable in drinking water. But the groundwater in the deltaic region of West Bengal up to 50m of depth contains more than 0.05 mg/l (reported concentration up to 01.2 mg/l) and millions of people living in the region are drinking arsenic - laden water. The consumers of such arsenic rich water are mostly suffering from various types of skin cancers. The concentration of arsenic further increases in the neighboring districts of Bangladesh. The release of arsenic in the Quaternary deltaic alluvial aquifer is expected to be due to reduction of arsenic-bearing iron oxyhydroxides. The fluoride content data in water belonging to different States of India covering its entire length and breadth reveal the fluoride concentration in groundwater ranging from 0.5 to 20 ppm. A concentration up to 1.5 ppm is considered to be within permissible limits set forth by the WHO for safe drinking water. **Results:** The inhabitants of high fluoride areas in Orissa, Rajasthan, Madhya Pradesh, Bihar, Maharashtra and West Bengal are mostly suffering from Dental Fluorosis, Crippling of Bones and Tooth Decoloration. Even the changes in shape and color of fruits and vegetables have been observed in high fluoride regions of these States. **Conclusions:** The high arsenic consumption leads to skin cancer, the arsenicosis while the high fluorine consumption leads to the fluorosis of the bones which is generally found in Asian region but it is more acute in India. Both, fluorosis and arsenicosis are emerging as the world's biggest environmental health disasters which have no cure available at present.

**Key-Words:** Arsenic, fluoride, groundwater, poisoning, drinking water, skin cancers.



## CONCENTRATIONS OF CARBON DIOXIDE IN THE ATMOSPHERE OF TWO LIMESTONE AND GYPSUM KARST CAVES IN SICILY, ITALY (EU): CONSIDERATIONS ABOUT HUMAN IMPACT

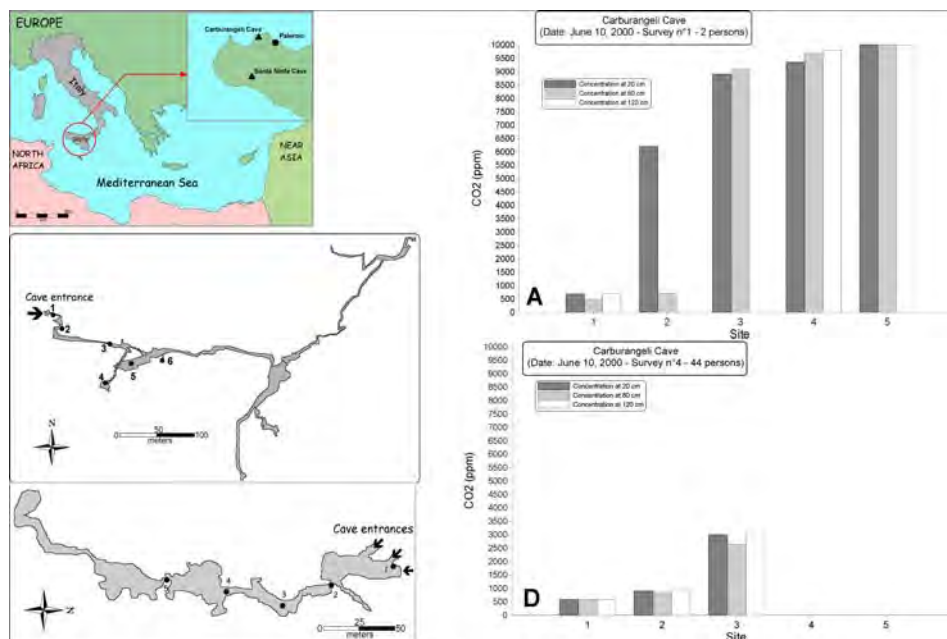
Paolo Madonia(1), Rosario Di Pietro(2)

(1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Palermo, Via Ugo La Malfa 153, Palermo, Italia (EU). ZIP 90146 E-mail: [p.madonia@pa.ingv.it](mailto:p.madonia@pa.ingv.it)

(2) Legambiente C.R.S. Gestione Riserve Naturali, Via Agrigento 57, Palermo, Italia (EU). ZIP 90100 Email: [carburangeli@neomedia.it](mailto:carburangeli@neomedia.it)

With the aim of monitoring the human fruition of the underground environments, static carbon dioxide concentrations have been acquired in two caves of Sicily, Italy. The first one, the Carburangeli cave, is located near the city of Palermo, in the subsoil of a residential area, along the contact between quaternary deposits and mesozoic limestones. It presents a tabular structure, with a maximum height of no more than 2.5 m; and a total length of about 400 m. It is characterized by a small internal volume and an intense water dropping that has created a very rich speleothemes coverage of the cavity roof. The second one, the S.Ninfa cave, is a gypsum active cave located in the messinian deposits of the Belice Valley, Western Sicily, close to the homonymous town. It is articulated in several partially anastomysed vertical levels, on the deepest of which flows an underground creek. Both the caves are protected by the Sicilian Regional Government as Natural Reserves since 1995.

Carbon dioxide concentrations have been acquired since 2000 in both the caves, by the use of a Testo infrared portable spectrometer, operating in the range 0-10000 ppm vol CO<sub>2</sub>. As a preliminary result, in the Carburangeli cave, the acquired data showed carbon dioxide depletion in the underground atmosphere, just after a fruition events with the participation of several tens of visitors, probably due to re-mobilization of stratified air. On the opposite, in the Santa Ninfa cave, the underground surveys showed carbon dioxide accumulations in the lowest parts of the cave, that persisted for several days after the fruition event. The anomalous concentrations of CO<sub>2</sub> are not noticeably under the human health point of view but, theoretically, they may have some effects on the alteration of the processes that drive the dissolution/deposition mechanisms of gypsum and calcite speleothemes.



Location of studied caves and variations of carbon dioxide concentrations in the underground atmosphere of Carburangeli Cave.



## LAND-USE PLANNING AND GEOMEDICAL ASPECTS

Snezana Komatina-Petrovic (1), Miomir Komatina (2)

(1) *Geophysical Institute (NIS-Naftagas), D.Avrarovica 38, 11030 Beograd, Serbia. E-mail: [unabojan@eunet.yu](mailto:unabojan@eunet.yu)*; (2) *Geoinstitute, Miloja Zakica 16, 11030 Beograd, Serbia.*

Inorganic nature of some area defines significantly living conditions of the inhabitants. That is clear because of the fact that all life of human beings is performed on the Earth, within the part of the crust which has an important role in his activity. That is why effects of the geological environment and appropriate factors are so direct and strong not only for the life, but also for the health of the population.

Importance of inorganic factors, known also as geofactors, was particularly distinguished during sixties of the last century, when, as a result of higher awareness regarding necessity of environmental protection, requirement for evaluation of anthropogenic impact onto the environment occurred (Environmental Impact Assessment).

Land-use planning is a very exceptional task which is of far-reaching significance for each country – that is why it should be realized reliably and studiously. Main approach to the planning has to be ecological, based on generally accepted and affirmed principles of environmental protection as well as on laws in planning, arranging and protection of the environment, in accordance with concept of sustainable development. Nowadays, instead of directing to the exclusive protection of natural complexes, as a basis for their rational use, problem of human health protection, improving working, living and rest conditions is highlighted. In that way, number and importance of questions which have to be solved by experts of **medical geology**, new discipline containing medicine and geology, is increased (M. Komatina, 2001).

When considering terrains of the Earth's crust mobile belts, set of tasks for medical geology is enlarged. Solving these tasks can contribute, among all, to planning of water supply and health protection in karst areas; providing use and protection of drinking, mineralized and thermal water; planning protection of human lives in the areas with landslides, earthquakes and volcanic activity; outlining potential terrains and objects of health recreation; protection of inhabitants in the areas with high radiation; planning of health protection in the areas with geochemical and geophysical anomalies (deficiency or surplus of some essential macro- and microelements in rocks, soil and water; magnetic anomalies, etc).

By application of methods of medico-geological exploration, consequences of different risks can be evaluated and outlined, as well as areas with positive influence on human beings. Role of fundamental and applied methods in defining some risks, that is – improving the environment and protection of human health, will be presented by example of radon risk.



## **IMPORTANCE AND NEED FOR EXPLORATION OF GEOMEDICAL FACTORS OF THE ENVIRONMENT**

Miomir Komatina (1), Snezana Komatina-Petrovic (2)

(1) Geoinstitute, Miloja Zakica 16, 11030 Beograd, Serbia and Montenegro. E-mail:

[unabojan@eunet.yu](mailto:unabojan@eunet.yu)

(2) Geophysical Institute, NIS-Naftagas, Dimitrija Avramovica 38, 11030 Belgrade, Serbia and Montenegro.

Living conditions of population of some area are strongly affected by appropriate inorganic nature. Geological factors certainly present a basis of the environment. Influence of different inorganic factors on population health are the reason why it is so necessary, in finding carriers of diseases and defining degree of life quality in one area, to take into consideration geology, that is – science related to inorganic world. Some efforts in domain of geochemistry and hydrogeology of the natural environment have been directed to solving this problem. However, effects of numerous geological factors on human health have not been a subject of the serious attention at all (rocks and geological formations; geomorphological factors; endogenous and exogeneous geological processes; tectonic elements; geophysical factors, etc.). In the paper, need for development and improvement of medical geology, new geological discipline at the edge between geology and medicine, requiring organized multidisciplinary activity and intensive research of geologists, is discussed. This is just the subject of the book Medical Geology, made by the same authors.

Key words: geological factors, environment, medical geology.



## THE POLYGONAL VORTEX MINERALISATION MODEL: A PREDICTIVE TOOL OF HEALTH INDICES AND THE PROPOSED USE OF SUCH “GEOLOGICALLY BASED PUBLIC HEALTH INDICES” AS A SUB DISCIPLINE OF MEDICAL GEOLOGY.

Bernhard Hochwimmer<sup>(1)</sup> and Luis Cruz Rodríguez<sup>(2)</sup>

(1) Minerals and Petroleum Department of Primary Industry, Victoria, Australia.  
Email: [prois@optusnet.com.au](mailto:prois@optusnet.com.au)

(2) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca No 1002, carretera central, San Miguel Padrón, Ciudad Habana, Cuba. Email: [luis.cruz@infomed.sld](mailto:luis.cruz@infomed.sld) ; [lcruz@igp.minbas.cu](mailto:lcruz@igp.minbas.cu)

### RESUMEN

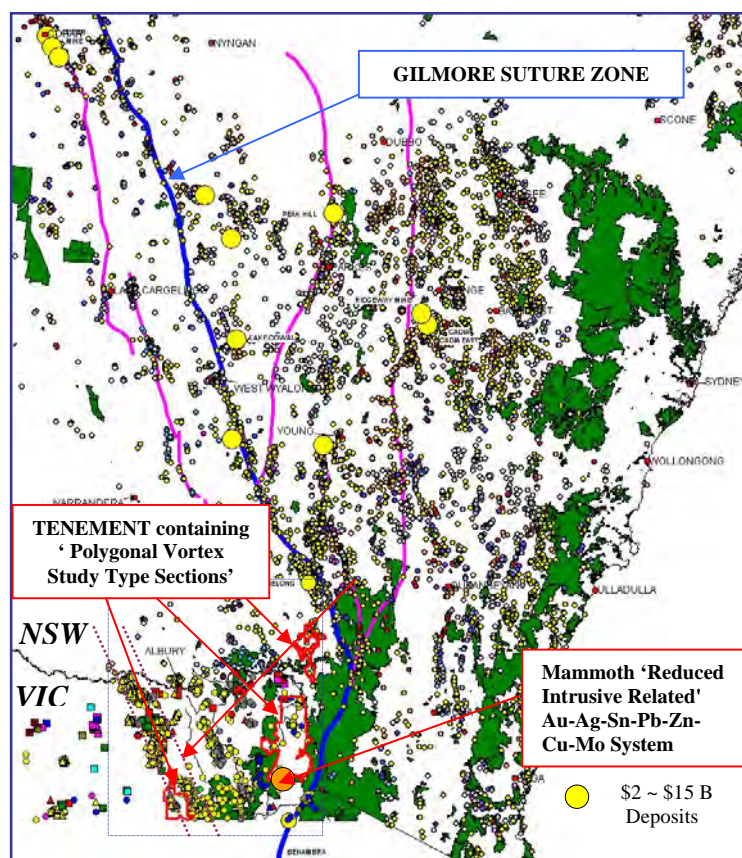
El Modelo Poligonal de Vórtice de Mineralización se desarrolló como una herramienta de exploración predictiva para la búsqueda del oro diseminado y mineralizado como metal de base, pero también propone por vez primera su uso como herramienta la gran utilidad como un índice de problemas de salud. El modelo describe la mineralización basado en los juegos de fracturas poligonales teniendo en cuenta parámetros de salud. Esto indica que el modelo puede ser ajustado a generar índices de gran potencial en la detección de problemas de salud a través de su asociación con los vórtices de mineralización predeterminada por el Modelo Poligonal de Mineralización. Este conocimiento, particularmente en regiones geológicas similares a la región estudiada como es el caso de América Latina, sería de inestimable su aplicación como guía de los futuros trabajos demográficos y epidemiológicos. Muchos de estos trabajos se han unido como disciplina dando paso al surgimiento de "La Geología Médica". Es de interés de los autores la validez y utilidad del concepto propuesto qué puede servir como un primer acercamiento al desarrollo de La Geología Médica y como una nueva disciplina de interés particularmente en los países en vías de desarrollo con acentuados problemas en la salud pública.

### ABSTRACT

The **Polygonal Vortex Mineralisation Model** was developed as a predictive exploration tool to explore for disseminated gold and base metal mineralisation, but also proposes for the first time a novel use, that of using a predictive mineral exploration tools utility as an index of potential public health problems. The model describes mineralisation based on polygonal fracture sets from microscopic to macro scale, self replicating on a niche scaled principal, displaying near fractal properties, possibly approaching self criticality, but with a predictive component for both mineralisation and health parameters in the macro scale. This indicates the model may be used to generate indices of potential confounding health problems through their association with vortices of mineralisation predicted by the Polygonal Vortex Mineralisation Model. Such knowledge, particularly in similar geological terrains to the type section, namely Latin America, or the reduced intrusive gold related system belts such as the Tintina belt stretching from North America through Eurasia would be invaluable to plan and guide future demographic and epidemiological works of many kinds linked to "Medical Geology", an emerging discipline. It is the author's expectation this paper will engender research into the validity and utility of the proposed concept of "**geologically based public health indices**" which may serve as a first principals approach to development of Medical Geology and as a subfield of this new discipline in the interests of public health, particularly in developing countries or where epidemiological guidance is sparse.

## INTRODUCTION

The **Polygonal Vortex Mineralisation Model** was developed by the lead author as a predictive exploration tool to explore for disseminated gold and base metal mineralisation, but also proposes for the first time a novel use, that of using a predictive mineral exploration tools utility as an index of potential public health problems. The purpose of this paper is to expound this new proposed concept of “**geologically based public health indices**”. As the model utilises remote sensing techniques and is perfectly suited to GIS modelling, this utility may have important implications for scout prospecting for potential health problems in vast regions of poor epidemiological guidance, and where the type section in SE Australia is geologically similar. Latin America conforms to this criterion and here there is a great need for such work since millions of people are potentially at risk of adverse metals and mineral exposure.



**Figure 1** Southeast Australia locality Map showing wider study area (blue box), detailed polygonal study areas herein referred to as 'type sections' (within mineral exploration tenements), Gilmore Suture Zone ~1,200 long, and the Ovens Graben. Colour dots are mineral deposits, gold in yellow. Green zones are Park areas. Main labelled population centres in red dots. Murray River forms New South Wales (NSW) and Victoria (VIC) state borders in the Study area.

This section dealing with the **Polygonal Vortex Mineralisation Model** describes only key results of the models development as this paper deals mainly with its Medical Geology

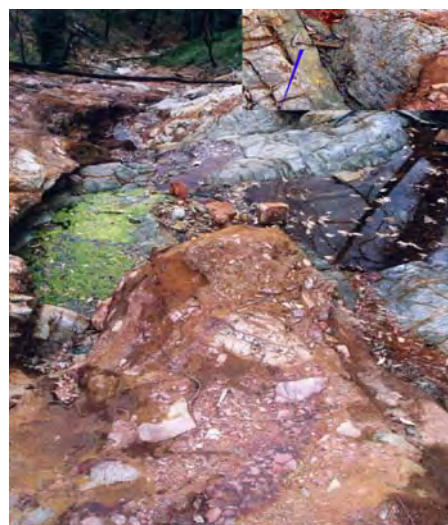
implications. The Model will be the subject of a subsequent more detailed paper focusing on economic geology and predictive component to explore for large gold deposits. Only the essential results, primarily the outcomes of geological and geophysical interpretations of data sets are summarised here. The 'type section' is herein defined as the study area of the Polygonal Vortex Mineralisation which occupies parts of a zone some 20,000 square kilometres about a major terrain suture, the Gilmore Suture Zone of SE Australia in the border region of the states of Victoria and New South Wales, within which detailed studies were carried out within exploration licences shown in Figure 1. The Gilmore Suture Zone is some 1,200 km long, and together with mineralised splays is associated with numerous mineral systems including rare earths, cobalt, chromium, nickel, gold, platinum, laterite nickel and porphyry copper gold systems ranging up to about \$20B in value, and presents an intriguing Medical Geology study area.

## MATERIAL AND METHODS

### Polygonal Vortex Mineralisation Model Type Section

The model describes mineralisation based on polygonal fracture sets from microscopic to macro scale, self replicating on a niche scaled principal, displaying near fractal properties, possibly approaching self criticality, but with a predictive component for both mineralisation and health parameters in the macro scale. Indeed it has been used to predict mineralisation in the research type section comprising the Gilmore Suture Zone of SE Australia representing the docking of separate terrains during development of the Lachland Fold Belt and Palaeo subduction of the proto Pacific Ocean plate beneath Australia-Antarctica from the Cambrian to Carboniferous. Figures 2,5,7,8 & 9 show small to large scale polygonal block, replicated on a niche scaled principal with vortices describing some gold mining centres in NE Victoria, Australia. The Mammoth mineralisation, crops out in the centre east of the type section. Traditionally ascribed as a porphyry Au-Sn-Pb-Mo-Cu system, the authors work for Dart Resources suggest it is a proximal to distal reduced intrusive gold related system ranging up to the epithermal environment in outcrop sections with unique mineralisation styles worldwide. Large sections of historical drill core range over 0.4 g/t Au peaking up to 11.6g/t Au, with tin generally 0.25 % peaking at 15% Sn as combined stannite and cassiterite, primarily on hydrothermal breccia selvages (Figure 2), with molybdenum peaking around 600 ppm in southern sections of this system that stretches some 9km in length (Figure 3).

The Gibbo River, intersects the northern edge of the system and a geochemical continuation as a separate northern vortex centred on Donavon Hill, a classic ring anomaly, some 3 km wide. This shows septae across the line of mineralisation, stretched out in the NS direction in bar like manner, indicating internal lower order vortex formations that have assisted in connecting mineralisation between vortices along the NS polygon boundary and country rock fabric parallel to the Gilmore Suture Zone. Even in dry conditions draining from these disseminated mineralised zones into the Gibbo River produces natural acid rock drainage (ARD) in this river, despite large volumes of dilution by 'clean water' upstream. The pH values range down to 5 for many kilometres





downstream. Pools within steep gullies intersecting mineralisation are in places floored by massive sulphide about which ephemeral iron sulphate precipitated on margins shows the system is actively oxidizing (Figure 4). Fortunately the Gibbo River Valley here occupies the deeply incised *Saltpetre Gap Spay Fault* of the **Gilmore Suture Zone**, cutting through mountainous, sparsely settled terrain. However a few small cultivations of chest nut farms are creeping up the Gibbo Valley, some 20km downstream on the Gibbo River flats. Australia is a sparsely settled nation having a population of some 20M over a land Mass of some 7M square kilometres. Predicating future problem areas could comprise one function of **geological based health indices**.

Polygonally arranged vortices correspond with intersections of different generations of deep crustal scale splay faults radiating out from the Major Gilmore Suture Zone, describing vortices of disseminated mineralisation in country rocks. The macro polygonal blocks of regional scale have resulted from alternating compressional and transtensional phases of subduction about docked micro-continental and island arc segments throughout the Phanerozoic and now comprising sections of eastern Australia.

The author proposes these splays accessed deep mineralising fluids trapped in compression, then released on "subduction role over" in crustal thinning transtensional environments, as against orogenic crustal thickening phases traditionally ascribed to mineralisation. Supporting evidence was gained in mapping the area (Hochwimmer, 2003, 2004) in that intrusions are centred about the transtensional fracture splays of the Gilmore Suture. The Dart plutons (Figure 5) for instance shows a string of discrete dioritic plutons, highly epidoteised and propylitic altered, with disseminated gold mineralisation specially also associated with base metal anomalism including massive sulphide and highly arsenical gold lodes along the Dart Fault Splay of the Gilmore Suture and intersection with carbonaceous Bolindian shales. These 'Warbisco Shale' were deposited in a volcanogenic-graben environment comprising the Mitta Mitta Trough. Mineralisation is centred on an intersection with earlier generation of more NNE splays sub parallel to the main Gilmore Suture Zone, locally typified by Carmody Fault. When the intersecting vortices are mineralized as in this case, the polygons so defined by the edges of the fracture sets may be joined end to end to describe a string of polygons defining corridors of mineralised vortices herein defined as **mineralisation corridors** (Figure 9) in this context. Some of the vortices are proprietary to Dart Resources, actively exploring the region. A diagrammatic plan of the 'type section' showing terrain boundaries and mineralising fluid flow paths during palaeo pacific crustal subduction into vortices is presented in Figure 7. The predictive nature of the model is shown by the numerous large zinc stream provenance zones some of which range from 460 to 2600 ppm Zinc, along the Zulu and Empress Mineralisation Corridor. It is also highlighted by the reduced intrusive



**Figure 3** Mammoth 'Reduced Intrusive Gold System' ~ 420 Ma. Outcrop in red, combined with geochemical anomaly zone (dotted magenta) overall length exceeds 9 km. Note northwest and west satellite geochemical anomalies. Grid North towards top. Gibbo River is acidic where it bisects the anomaly zone for several kilometres.

targets the model has generated to the east where Bolindian black shales coincide with vortices, the organic shales postulated to generate significantly more heat, a favourable attribute in the formation of porphyry and reduced intrusive related gold deposits. Here they are generally 'Pridolian' around 420Ma coinciding with the main crustal thinning phase, after the Benambran Orogeny. Collins (2004) also ascribes major mineralisation elsewhere in the Lachland Fold Belt (LFB) to crustal thinning phases, between orogenic peaks and presents for the first time extensive geochemical evidence in support for this concept. SW along the Mammoth Mineralisation corridor, individual historical gold mines in detail show the same special fractal patterns within the corridor, as do some of the ore shoots at the mine scale (Hochwimmer 2004). In smaller scales ranging to microscopic, the same pattern is seen in microfractures and in filled replacement fabrics, controlling disseminated mineralisation in the Mammoth RIG (Hochwimmer 2004).

## RESULTS

### Polygonal Vortex Mineralisation Model in geologically based public health indices

In recent years health concerns have been raised in the NE area of Victoria in the border vicinity of SE New South Wales (NSW) of Australia (Figures 1, 7 & 8). Some workers have linked anthropogenic activity. The authors suggests there may be additional confounding effects of geology and mineralisation of regional scale. Figures 3 and 4 show locations of recognised health concerns in relation to vortices, but whole zones within the whole of this study region (Figure 1) have been linked with higher than average cardiovascular disease and cancer. As for specific low density isolated areas, example include arsenical gold lodes (Ournie reefs section of the Tumbarumba Goldfield) which record a case of bladder cancer. At Castle Creek, unknown for gold mineralisation, but downstream of a vortex along the Kiewa Fault, copper toxicity is recorded. The highest breast cancer rate in the state of Victoria, with 850 cases is recorded from a low density valley comprising the upper Ovens Graben, and coincides with many vortices here. This indicates the model may be used to generate indices of potential confounding health problems through their association with vortices of mineralisation predicted by the Polygonal Vortex Mineralisation Model, but also indicates where prominent vortices occur in association with additional indicators such as a graben or Suture-tensional trough environment; vortices should be given a higher rating of potential health problems.

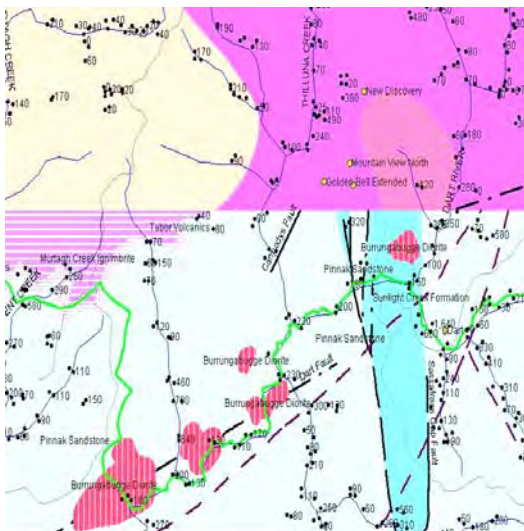


**Figure 4** Massive sulphide, flooring pools within the Mammoth IRG outcrop, showing ephemeral rimmed iron sulphates (pseudo azurite appearance), washes away after rain.

### Other Mineralisation Styles associated with Vortices and potential health concerns

Locally fluorite is high in the Mammoth RIG system, and rare earth sands rich in monazite occupy vortices to the north, in the Dart Goldfield, as well as in association with tin

case of acute lymphoblastic Leukaemia, one of only 13 ever recorded worldwide is known to occur within 300m of this radiation source. It is a non myc-8,14 translocation contracted by a 28 year old female (personal communication, Dr. Annabel Tuckfield, haematology consultant, Royal Melbourne Hospital). It is unknown if this is the cause of the illness, but the proximity of the torbanite mineralisation from the patients residence is suspicious enough to warrant consideration as a confounding factor, particularly as the town limits are down wind of the torbanite outcrop. What is more, this suburb's water supply tank was built partly on the occurrence. One wonders if radon can be absorbed by the water in the tank and



transmitted to residents short distances. While this occurrence may be restricted locally, scintillometer counts as high as 3,000 cps have been recorded. Prior to the onset of this illness the author notified the NSW geological Survey. The EPA considered the valve in the tank was of the type which turns standing water within the tank over quickly. EPA/mineral department engineers considered the site safe on this basis. We are unaware of any geological biological modelling or radiation and radon measurements conducted by the EPA. We suggest these studies should be the first principal's studies conducted prior to engineering assessment, given the arid summer conditions and potential for wind borne contamination.



Within one kilometre a 12 year old male child in the same downwind direction was diagnosed 20 years previously with a rare form cancer spreading in dendritic habit. Rare forms of cancer such as these near locally peculiar vortices may not substantially heighten the already above average cancer rate within specific Southern NSW and NE Victoria regions, but conceivably highlight unusual environmental conditions that require further study. They also show vortices of unusual mineralisation styles, in this case greisen, albitisation, and arsenical gold mineralisation within pegmatite +/- beryllium, hosted by regionally metamorphosed Ordovician metasediments. In some higher populated centres such as the Upper Kiewa region near the township of Tawonga-Mt Beuty, higher cancer rate are known to local medical practitioners (Dr R. Robinson, personal communication). Apart from possible anthropogenic factors, primarily agricultural sprays, we suggest there may be confounding geological factors as this area conforms to a gold mineralisation vortex we herein name the '*Tawonga Mineralisation Vortex*' at the intersection of the Kancoona/Kiewa Fault Zone and the Towong-Tawonga Fault system we define as a major Splay of the Gilmore Suture Zone emanating from the Dart study area (Figure 8).

Such potential adverse health indices may intensify where additional overlying or intersecting geological parameters exists such as gravity anomaly intersections, often associated with major mineralisation zones and trans-continental cross fractures, and graben based coal or ground water parameters are coincident. For instance this part of Victoria is associated with the Murray River liniment, the lead author previously proposed to be a continent wide fracture system related to interactions between the Mozambique and Prydz-Leewin Belt Mobile Belt formations in conjunction with compression from the eastern 'palaeo pacific' plate on the eastern Gondwana margin around 580~548 Ma, prior to onset of oblique 550~450 Ma subduction beneath the Trans Antarctic Mountains (Hochwimmer, 2004). The direction, parallels Australian movement about the  $9^{\circ}$  N,  $163^{\circ}$

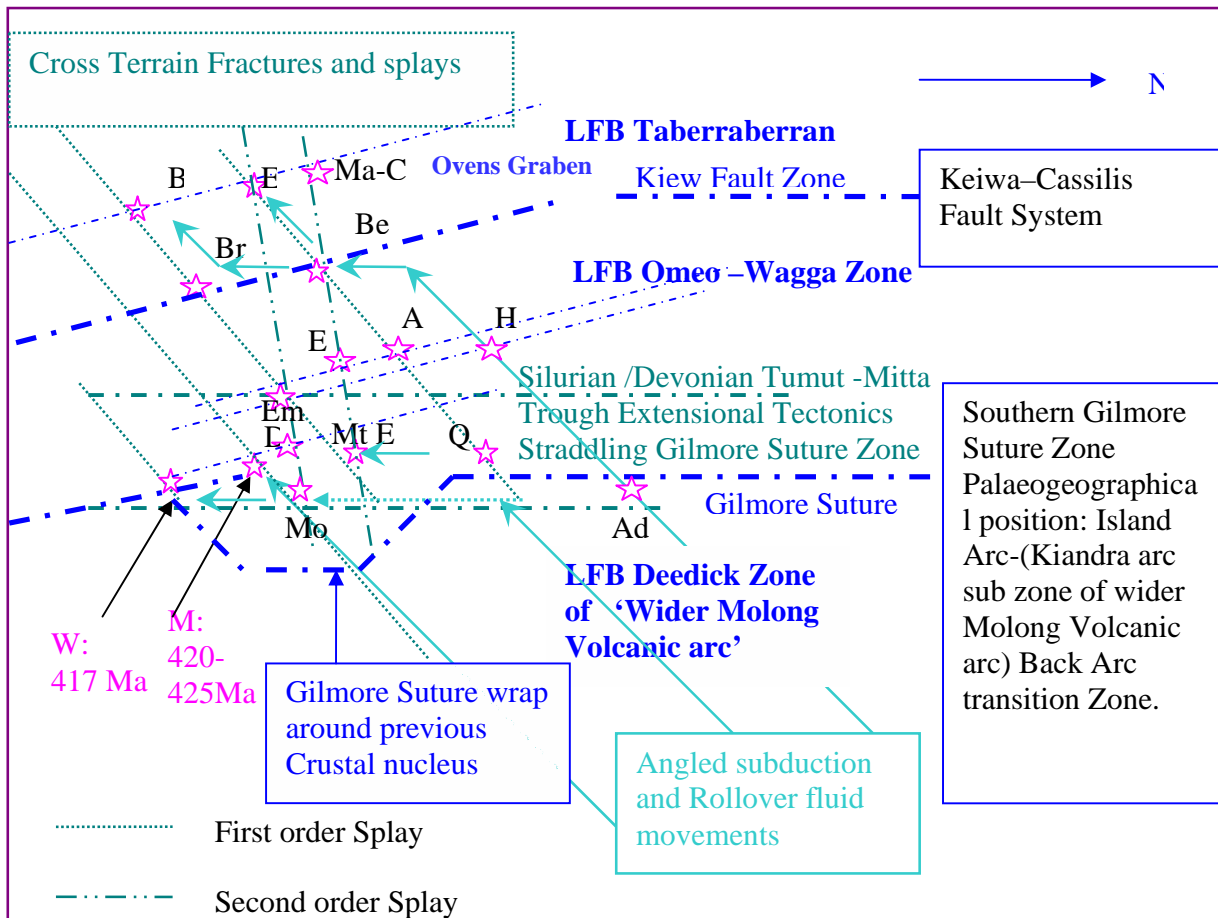


**Figure 6.** Adit within Glen Wills Goldfield (Mammoth Mineralisation Corridor) showing carbonate and iron stalactite/stalagmite development derived from the carbonate altered gold lodes containing several percent sulphides. The highest gold grades are associated with arsenopyrite. Arsenic level in nearby creeks is generally below standard 1ppb detection limits, occasionally rising beyond 13ppb after rain. These 'orogenic deposits' are generally associated with low mine or natural rock acid drainage since the minimal drainage is easily accommodated by cation capture in surface clays, compared with pervasive IRG or Porphyry mineralisation associated with transtensional Splay Faults that form on Polygonal Vortices during post orogenic crustal thinning regimes (Hochwimmer 2004). Exceptions are associated mesothermal massive sulphide- gold lodes, and together with the IRG deposits, often pervasive and arsenic rich, are therefore considered to indicate these polygonal vortices are prime foci for health indices. The Orogenic styles gold lodes have close spaced polygonally spaced vortices, replete on smaller niche scaled principals, while IRG's are widely spaced but pervasive (Figure 9). This results in a rather long natural rock acid drainage, for example within the Mammoth IRG system.

E palaeo pole, splay faults of the Darling Fault near Cape Lewin in Western Australia and the Madagascar- Cobue'- Mozambique transcurrent movement subnormal to the 650~580 Ma, Mozambique Ocean closure. This movement is argued here to be critical in the high mineral fertility of large IRG/porphyry mineralisation, such as the Mammoth IRG Vortexes, and other subtly disseminated mineralised vortices of diverse and unusual styles, within the study area. The Lachland Cross Liniment structure a few hundred kilometres to the north of The Murray River lineament we suggest is similarly related. It also has been implicated in high mineral fertility, in this case within the Macquarie Arc, essentially a northern equivalent of the Gilmore Suture Zone Volcanic association in the study area. Therefore we suggest similarly effected sections of the wider Molong Volcanic Arc throughout eastern Australia could be the subject of Polygonal Vortex Mineralisation model derived health Indicis in the interests of public health.

The super scale continental cross liniment feature, the 'Murray River Lineament' situated in part along the Murray River, and its parallel structures intersections with subduction entrained palaeographic features and resulting vortices is herein proposed as a hypothesis of causal and confounding factor in higher than average cardiovascular disease and cancer rates in certain regions of NE Victoria and southern NSW.

The Mammoth IRG super-vortex is large, spanning and incorporating three vortices where mineralisation occupies the NNE polygonal boundary (parallel to the Zulu Mineralisation Corridor) represented by the country grain opened in a transtensional environment normal to the subduction from the east in the late Silurian. It also features a gravity anomaly that cuts across the grain, often a feature in fertile mineralising systems, particularly when the cross fractures are cross terrain. For these reasons such intense vortices clustering should yield a higher corresponding geologically based public health indices, given the large rock acid drainage emanating from this natural system. Even in considerably smaller orogenic style gold vortices at Glen Wills 20km to the SW, still within the Mammoth Mineralisation Corridor, arsenic in surface waters may exceed 13ppb following rain (Figure 6).

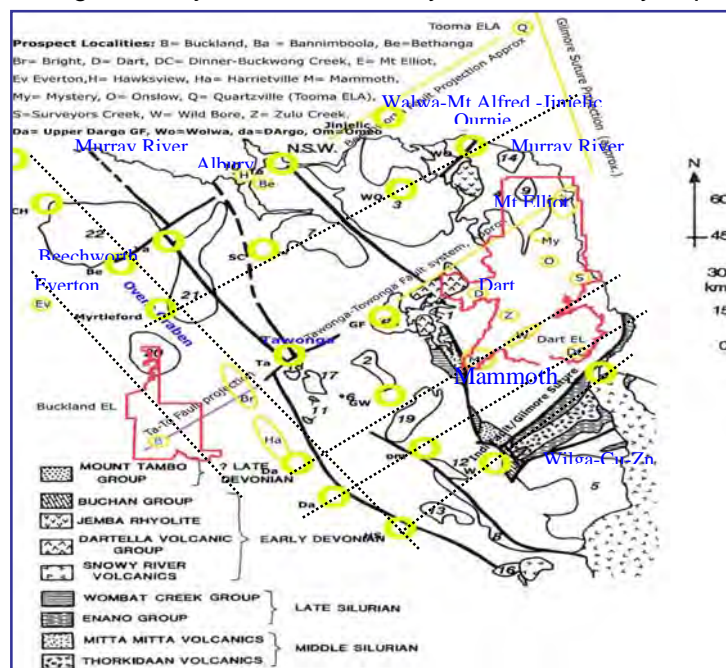


**Figure 7** Summary of angled subduction theory effects on subduction plate rollover fluid movement. Laterally fluid movement on the shallow subducting plate channelled along wedge against deep crustal to sub crustal structures namely: postulated pervious nucleus of Cambrian -Ordovician crust-reflected in Southern Gilmore Suture embayment (Indi Fault); resulting splay faulting radiating from embayment (and resulting terrain docking yielding Gilmore Suture), intersections of different splay generations; and major structures such as the Devonian/Silurian extensional trough and similar tectonics on the Kiewa fault margin with the Tabberabbera Zone reflected in today's Ovens Graben (Figure 1, 7). Also shows diagrammatically the Polygonal Vortex Mineralisation concepts on the Mega scale spanning gold field with goldfield scale or giant mineral subsystems scales on major first and second order splay intersects such as the Mammoth epithermal Au-Ag and Wilga Syngenetic C-Zn deposits focused on intersections of first and second order splays of the Gilmore Suture Zone. Note the lateral Plate wedge fluid flow and time differential between the Mammoth and Wilga deposits.

Macro Mineralisation Vortices, some conforming to major deposits of Goldfields (GF) mentioned in text in relation to Health Indices: Mammoth porphyry/reduced intrusive gold epithermal; Em=Empress porphyry Cu-Ag; E-Everton Molybdenite Porphyry; W- Wilga/Currajong Syngenetic Cu-Zn VHMS; Mo-Mt Morgan porphyry Ag; H-Holbrook Sn-Bi IRG/porphyry; D-Dart GF; B Buckland Reefs; Be- Beechworth GF (2M oz Au); Ma-C Magenta Mine-Chiltern deep leads; Q-Quartzville, (Tooma EL); Ad-Adelong Reefs.

In the northern most vortexes on the Zulu Mineralisation Corridor (Mt Elliot) soils arsenic may reach several hundred ppm at the toe of slopes comprising tertiary sediments skirting foot hills where drainage radiates from orogenic gold at the interface of Ordovician metasedimentary roof pendant with Silurian granites. While the iron rich surface sediment suggests the arsenic will be fixed, the effects of deeper profiles with hydrological gradients pointing down hill towards the township of Corryong suggest a higher index could be assigned to this vortex.

East of the type section, several major polygonal vortex intersections occupy centres coinciding with a regional scale polygonal block as sections of the Omeo Metamorphic Belt (OMB), a terrain which underwent low pressure high temperature metamorphism in the wider back arc environment of the Lachland Fold Belt (Benambran Orogeny), possibly from a change over from western to eastern subduction. The Gilmore Suture Splays here are terrain wide fracture systems such as the WSW orientated *Tawonga-Towong Fault system* and the parallel *India Fault System*, essentially a very major inflexion in the generally NS orientated Gilmore Suture Zone. Proto Ordovician extensional tectonics which generated extensional volcanic basins in the type section have created the Tumut Trough System, a volcanic basin more or less running the length of the Gilmore Suture Zone, is represented on the western Mega-polygonal block edge of the OMB as the Ovens Graben centres along the major Kiewa Fault System, eventually equivalent to the sub



**Figure 8.** Large scaled Polygonal Vortices in NE Victorian stretching over the NSW border along the Murray River. Note the Ovens Graben vortices including Myrtleford, Albury, Ournie, Dart, Mammoth IRG, Everton, Beechworth, Walwa-Jinjelic vortices mentioned in the text in terms of Health Indices. Some 850 cases of breast cancer are noted within the Ovens Valley by Monash University health monitoring. North is to the top of the map, scale; about 240 km from north to south, 180 km east to west.

Within the large red study area, vortices occur in successively smaller and denser polygons, and where strongly mineralised, describe **Mineralisation Corridors**, along similar orientations to the Macro polygonal vortex pattern but also on diagonals (**Figure 9**) to these vortices on intersections of acute and more oblique generations of splay faulting of the Gilmore Suture zone.



parallel Gilmore Suture Zone to the east. However this western trough is devoid of Silurian to early Devonian volcanics. Nevertheless these eastern and western rift basins are connected by cross terrain splay fractures and porphyry mineralisation such as the Everton Molybdenite porphyry does occur in the western trough, demonstrating such systems formed well beyond the subducting margin. A major vortex (Beechworth) near the Kiewa Fault System forms the bounding polygonal side of the OMB mega block and has an historical gold production of some 2M oz gold. Another difference to the Tumut Trough along the Gilmore Suture is that the Ovens Graben, is flanked by the highest grade metamorphics of the intervening OMB, and late Devonian reactivation extending into the Tertiary perhaps as a result of the Gondwana break-up tectonics yielding coal deposits that are fairly well undercover in the graben to the NNW, beneath more recent sediments of the Murray Basin. Numerous orogenic gold deposits flank the foot hills of the graben and conform to major vortex centres such as Buckland, on strike with the Everton Molybdenite tin porphyry. Small population centres such as Springhurst, Eldorado, Myrtleford, Porepunkah, Bright, Harrietville and Dargo (southern water shed along the Kiewa Fault) occupy positions on splay fault systems intersection with the graben. Consequently these vortices are occupied by historical gold field settlements within the graben boundary and from which fluvial systems were extensively dredged for gold historically.

These coinciding geological risk factors of these vortices suggests they should have a very high index of health concerns.

In fact the Ovens Graben basin, though of low density has the highest incidence of breast cancer in the state, around 850 cases. Work to date has generally focused on the notion that anthropogenic factors are responsible. Indeed the area was once a major tobacco growing region and traditionally subjected to pesticides. These include arsenates of lead initially, dieldrin, endrin, DDT until about 25 years ago. In the 1930's fruit tress were sprayed with Paris Green an arsenic based compound (Alec, Phillips, Ovens Valley grazier, Wohorauly, personal communication) so there is potentially significant anthropogenic involvement.

Indices generated by the model could also potentially resolve discrepancies of past environmental studies. For instance mercury in fish within Lake Eldon, Victoria, part of the Goulburn River System, 200 km SE of the study area has been ascribed to the historical use of mercury for recovering gold in alluvial gold recovery from sluicing systems in the late 1880's. However this mode of alluvial operation was also used extensively within Snowy Creek, part of the study area, without reports of mercury in fish catches here. Why the difference? Rather the centres of mineralisation upstream of Lake Eldon can be considered to form vortices at such mining centres as Howqua, Gaffney's Creek, Jamieson and Matlock. Furthermore disseminated forms of mercury occur as cinnabar in the mineralised country rock along the Goulburn River. It is likely therefore that vast quantities of very low grade disseminations of cinnabar within these vortices may account for large inputs beginning as labile forms of mercury in the form of sulphides that may have greater potential to generate methyl mercury forms in fish in the Goulburn River compared with fish in the Snowy Creek System. Within the **Empress Mineralisation Corridor** large mineralised vortices occur where the corridor intersects Snowy Creek such as at Granite Flat. This area hosts the Empress Porphyry Cu-Au mineralisation, yet there are no reports of mercury in fish here, suggesting neither the porphyry systems or alluvial mercury from alluvial gold mining are involved, although one should note this has not been quantified. If so disseminations of mercury sulphides may enter the food chain more rapidly within the

Goulburn River System, suggesting natural causes of mercury contamination outstrip anthropogenic causes of mercury build up in the food chain. Such discrimination between anthropogenic and natural systems is important since the natural environment may have contaminated hundreds of square kilometres of terrestrial areas amongst vortex centres as well as lacustrine systems. If one assumes all the mercury problems in NE Victoria relate to the Goulburn River alluvial operations then one would not examine the possibility of more wide scale contamination, and thereby doing public health a disservice. Further work to discriminate between natural and anthropogenic cases of contamination is warranted. As a general comment, such discrimination should be more widely adopted than is current practice in environmental work.

## DISCUSSION

### Ovens Graben

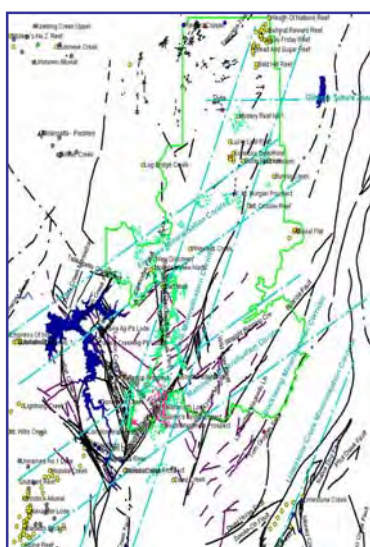
There are other areas in Australia with high anthropogenic component comparable to the Ovens Graben that may be causal to disease. Yet they don't have this extremely high incidence of breast cancer. The authors suggest this could be considered the first clue to confounding factors involved in cancer within the Ovens Graben.

One of the largest population centre in the Ovens Graben, the country town of Myrtleford, is also the centre of the largest single historical hard rock gold mine, the Reform Mine which yielded over 1 tonne of gold. The first 25 years of production is unrecorded, and there are suggestions this mine has produced several tonnes gold since it was mined to a depth of 230m from an elliptical ore zone 9m wide by some 130 m long. The mine is virtually in the centre of town had its tailings were tipped on the western side of the main street in the Ovens River. Later these sands were dredged along with alluvial gold. Country rocks are highly arsenical and pyritic within the vicinity of the mine, arsenopyrite crystals ranging up to 15 mm. Numerous other orogenic gold reefs flank the Ovens Graben escarpments about vortices and population centres, including south west of Myrtleford where the town currently accesses its water supply directly from Buffalo Creek. **Scorodite** a hydrated iron arsenic compound is common in the oxidized mineralisation zones of the gold lodes and could easily impart arsenic to groundwaters in the graben basins nearby. The reducing environment being close at hand would promote labile arsenic movement.

Furthermore in the authors opinion, nearly one million tonnes of tailings from the Reform Mine from arsenical ores would have been remobilised in the centre of town to deeper levels by alluvial bucket dredging activity removing them from the oxidised zone to deeper reducing zones generally within 30m of the surface of bucket dredges operating depths. The affects of this massive input of labile arsenic should be reconciled against anthropogenic factors contributing to breast cancer in this population centre. It is possible for instance that the sulphide forms of arsenic may have greater potential for methyl arsenate and ribose arsenate transformation in reduced anoxic methane bacterial zones or if the tailings come into contact with anoxic peat zones within 30m depth. Arsenic is usually considered to not directly damage DNA, chromosomal aberrations, aneuploidy considered the most common path to cell transformations. Presumably the methylated forms may be more carcinogenic than more toxic trioxide arsenates used on farm surfaces. On the other hand the toxic trioxide forms may conceivably alter cell signalling resulting in precancerous conditions including inhibition of apoptotic pathways such as p53, associated in arsenic induced skin cancers for example, and combinations of various



arsenic species proves to be synergistic in disease promotion. Presumably as some cancers may be related to imbalances of methylation of DNA this poses a question as to the specific species of arsenic that might contribute to breast cancer in particular, since arsenic is more commonly thought to involve skin, liver, intestinal, kidney, bladder, lung and Leukaemia cancers. However, epidemiological studies have only just begun, and such associates as intestinal cancer studies will no doubt be researched in the future in the Ovens Valley. The combination of these factors with anthropomorphic factors including organic agricultural sprays should be considered, the total combination may enact a regional specific disease pattern, in this case apparently breast cancer, compared to other regions of the country with similar anthropogenic factors but different disease patterns. Arsenic has been shown to inhibit the repair of DNA (Ramirez, 1997), and affect the binding of transcription factors, including p53. Perhaps this combined affect is instrumental. For example BRCA1 is involved in repair of DNA independently of p53 (Hartman, Ford 2002). Inorganic arsenic appears not to act through classic



**Figure 9. Empress, Mammoth and Zulu Mineralisation Corridors. Dart 'Type Section'** shown in green boundary, 75km north to south. The 420 Ma Mammoth IRG outcrop and soil base metal anomalies shown in magenta, extending over 9 km strike length. Additional satellite anomalies shown, including numerous zones outlined in green, niche scaled smaller vortices defining the Mineralisation Corridors along with orogenic gold lodes and porphyry/IRG prospects shown in yellow circles. Both NNE first order (Zulu trend) and second order ENE (Empress trend) Splay Faults of the Gilmore Suture Zone dominate Corridor trends. Note the position of the Mammoth IRG at the intersection of the Zulu and Mammoth Corridors. Gaps occur where exploration geochemistry is almost non-existent in the east part of the central east and south sectors. Here along niche scaled fractal principal exploration targets have been defined, precise locations of which are largely proprietary (Hochwimmer 2004), demonstrating the predictive component of the Polygonal Vortex Mineralisation Model. Detailed magnetic maps were used to trace subtle fault and shearing orientations in this analysis. By and large the Zulu Corridor parallels the Saltpetre Gap Fault. It bridges the ENE, or second order splay fault trending Empress and Mammoth Mineralisation Corridors to the north and south respectively. Additional 'First Order Mineralisation Corridors' the Buckwong and Limestone Creek Mineralisation Corridors are shown to the east. Faults in black include the Gilmore Suture Zone, passing through most of the Dart EL.

geonotoxic and mutagenic mechanisms, rather acting as a tumour promoter that modifies cell signalling pathways in cell growth and proliferation (Simeonova 2000). Activation of AP-1 by trivalent arsenic includes stimulation of mitogen-activated protein kinase (MAPK) cascade yielding expression or increased expression of AP-1 jun and c-fos constituent phosphorylation. This would be significant in BRCA2

previously implicated in the repair of DNA and now also shown to regulate cell cycle progression (Shiekhhattar, 2001).

There is still a much unknown about arsenic and cancer, and the question of arsenic involvement in specific circumstances should be considered an open question.

If these organic methyl and ribose arsenic species cross the nuclear membrane barrier through less toxicity to inorganic forms such as arsenic III, they could influence, perhaps even substitute for ribose and methyl groups about the chromosome structures. Could this enhance the prospects of malformed chromatin material resulting in aneuploidy, joining end to end leading to translocations in critical oncological sites and indirectly and simultaneously switching off apoptotic signalling pathways? Arsenic suppresses the hTERT gene coding for one of the building blocks of telomerase, keeping the chromosomes ends, telomeres, intact. If shortened, frequent end-to-end chromosomal tangles as a result. This can kill cancer, near the point of telomere collapse, by inhibition of telomerase, the mechanism by which arsenic trioxide is so effective against acute promyelocytic leukaemia (List, A., 2003). On the other hand small amounts can lead to damage without the cell going into an apoptotic state, thereby causing cancer if the apoptotic mechanisms are impaired as appears to be the case with arsenic.

However, even when present in elevated amounts, arsenic may be in levels rather low for significant impact, unless a synergistic accelerant exists.

Flavonoid, despite their net benefit as antiinflammatories can like quercetin and fisetin also lead to aneuploidy by shortening telomere lengths through their action of topoisomerase II inhibition, affecting in rare cases the MML gene in early progenitor haematopoietic cell line Leukaemia's distinct from ALL and AML. While normally chromatin damage to aberrant cells this could be considered chemo preventative, just as high arsenic can damage acute promyelocytic leukaemia cells to combat APL, if the combined low dosages are sufficient to inhibit apoptosis instead of massive aneuploidy and osmotic shock leading to cytochrome leakage of the mitochondria, then a cancerous state could be exacerbated synergistically by dietary means. Normally antiinflammatory flavonoids work on STATIII to reduce interleukin 6, but other molecules common in Mediterranean diets, resveratrol-stilbene, works on homeostasis of transcription factors STAT I & II and in some circumstances this may conspire to prevent apoptosis in face of toxicity, useful to prevent toxic shock but perhaps promoting carcinogenic under certain conditions. Other transcription factors also appear crucial, STAT 5 is associated with a favourable prognosis, even after adjusting for patient age, tumour size, histologic grade, hormone receptor and Her2/neu status. loss of Stat5 activation was associated with a 7.5-fold increased risk of dying from recurrent breast cancer (Rui., 2004). Thus arsenic's ability to affecting the binding of transcription factors could conceivably involve Stat5. Toxicity of arsenic at the molecular level results from interaction with sulfhydroxyl groups of proteins and enzymes. This can inactivate enzymes involved in oxidation of pyruvate and beta oxidation of fatty acids (Belton et al., 1985)

Should all these combined factors operate with metal toxicity; the authors propose carcinogenic threshold could occur, in combination with additional anthropogenic and geo-environmental factors possibly including selenium in breast cancer, and so differing from the usual arsenic induced cancer of the skin, intestines, lung, bladder and liver.

### *Proposed Biological Models of disease from specific areas*

To conclude that the anthropogenic component, while undoubtedly a risk factor, is the sole cause of the high breast cancer rate in the Owens Graben may be misleading. It would appear a daunting task to separate component causes of the multiple factors considered in breast cancer within the Owens Valley to separate anthropogenic from geological factors in particular. The authors suggest biological modelling to testing multiple factors simultaneously that describes specific anthropogenic and geological cofactors from specific areas may describe the constituent portions involved. Prime single factor epidemiological studies of say organic pesticides or bio indicator studies of single causative factors may be misleading. Apart from geological factors this could incorporate area specific cultural factors.

Identifying these to incorporate in Biological Models or 'bioassays' in the Owens Valley, indeed any area, requires specific insights to both geology and culture.

Intriguingly the Owens Valley was settled mostly by farmers of Italian descent; amongst which flavonoid consumption would originally have been high through traditional Mediterranean diets normally considered chemo protective, high also in folate, conceivably an ameliorating factor in arsenic or selenium toxicity, which in server cases will decrease intestinal bacterial production of folate.

Apart from the anthropogenic organics, which are not considered in this discussion, there are natural sources of organic molecules from bores along the graben. Since these have coal deposits in the downstream sections, peat horizons are likely to be present that could concavely be repositories of both organics and metals that have made there way into the alluvial aquifers from the numerous mineralisation sources along the graben escarpments, as well as presumably the main fault systems buried by graben sediments since these systems (eg Williams United Reef System) have been noted in the Morse's Creek Valley, a tributary of the Owens River System centred on the Wandiligong Gold Field. The Reform Gold Reef also plunges beneath the Owens Graben upstream of Myrtleford, in the direction of the town's water intake. Conceivably also pathogens from the substrata organic profile may have a role in disease progression by precipitating an inflammatory response, exacerbated by metal contents such as iron, copper or arsenic which can exacerbate vascular inflammation.

The valley has been extensively irrigated for decades and given the sulphide mineralised vortices, and a common association of such mineralisation with selenium it is possible ground water selenium may have accumulated over time through irrigation. However, bioavailability has not been widely tested. In the more organic rich loams, predominantly in the lower part of the Owens Graben Valley, soils might be expected to fix selenium in the iron rich clay colloids. Nevertheless there are extensive sections of the valley with rather sandy soils grading on quartzose and even bouldery amongst extensive gold dredging areas including the Harrierville, Bright, Porepunkah and Wandiligong gold mining centres. This environment combined with addition of phosphates and sulphate fertilisers to improve such lean soils may have enhanced the bioavailability of selenium concentrated by irrigation accumulations, since the sandy loams requiring more watering. If so, wide scale selenium toxicity is a possibility. This would excess selenium, normally protective has a negative impact on breast cancer. Another way of looking at this is to surmise that extra

selenic-protein implicated in breast cancer prevention, is now more susceptible to arsenic damage (see below).

Certainly arsenical build-up from the bores or general irrigation can be expected, not just from anthropogenic activity, so all factors should be modelled into Biological models and epidemiological studies including selenium toxicity. This could be complex, in some zones the narrow selenium of health benefits could be protective, ameliorating the affects of arsenic. For instance genetic polymorphism detected more frequently in breast cancer tumours, also correlates with a reduced response to selenium. Breast carcinoma cells are more likely than normal cells to exhibit a particular polymorphism in the gene for the antioxidant **selenoprotein glutathione peroxidase (GPx-1)**. Loss of heterozygosity (LOH) at this locus occurs frequently in cancer cells, leading to a reduced response to selenium.( Ya et al., 2003). Selenium-dependent GPx-1 detoxifies hydrogen and lipid peroxidases, so genetic differences may require some people to have different selenium requirements. The researchers examined the functional significance of their findings by engineering breast carcinoma cells to exclusively express either the leucine- or proline-containing GPx-1 198 allele. They found that the leucine-containing allele of GPx-1 was less responsive to stimulation with selenium supplementation.

Ya et al have a model that suggests "if you have less of these selenium- containing proteins, you're at greater risk for cancer," One mechanism, supported by epidemiological studies, is that less dietary selenium leads to lower selenoprotein levels and consequently increased risk of cancer. Another way is to be genetic disposed such that one requires more selenium to see the same level of protein activity and protection as others. Alternatively one can consider two alleles involved to be lost during the tumours development, perhaps increasing the cancers virulence.

There is growing evidence that in general toxicity, selenium can compensate for the deleterious effects of arsenic, and perhaps that zinc may cover some toxic effects of selenium in turn.

However what if this operated, like many reactions in a reversible way? In that case excessive arsenic would impact negatively on selenium's protective mechanisms in breast cancer. Can this account for the effects seen in the Ovens Valley? This would mean LOH is a distinct possibility with increasing arsenic and a factor in the development of breast cancer.

The intriguing factor here is the Italian cultural origin amongst the Ovens community. Wine consumption by this ethnic was common. We have theorised in combination with metal toxins that its resveratrol (cold climate wine) content can both ameliorate and promote risks. The alcohol content is a known breast cancer risk factor however. Is this partly due to due to the fact that alcohol can stimulate production of human growth hormone? We suggest it will, growth hormone can stimulate the growth of breast cancers, demonstrated by some aggressive forms of breast cancer that produce excessive amounts or their own growth hormone.

An additional positive factor in the Oven Valley amongst the Italian population is originally high consumption of olive oil. Recently the inhibition of acid varieties of olive oils, due to oleic acid in these oils has been shown to be as affective as Herceptin in retarding Her2/neu protein positive breast cancers, reducing it about 48% (Menendez. J., 2005). Her2/neu positive cancers comprising some 25% of all breast cancers. treating the cancer

cells with both oleic acid and Herceptin drove Her2/neu levels down still further, by as much as 70 per cent.

The young generations of Italian descent in the Ovens Valley are adopting mainstream cultural habits, including disproportional female smoking habits and increasing alcohol. As tobacco has been traditionally grown in the valley the implications for breast cancer can be expected to be complex and modelling these trends amidst current high incidence of breast cancer would be desirable in conjunction with more subtle cultural features and geological factors.

The higher indices ascribed to vortices hosted by a graben environment points to the latter as confounding factors.

#### *Polygonal Vortex Mineralisation Model derived Health Indices*

In the Dart study area geophysical interpretations were made to assess the Splay fracture patterns and relationship to vortices, but various remote sensing techniques may also provide this information, together with detailed geological assessment, including known patterns of mineralisation. Furthermore a variety of techniques including artificial intelligence systems used to model mineral potential in remote regions could also be employed to generate health indices.

An argument could be made that information on mine localities and recorded mineralisation sites should yield the equivalent information to geologically based public health indices assessment. But there are many reasons for adopting the health indices approach, particularly where epidemiological control is sparse. An economic mine may for example represent a 1000 fold increase in surrounding metal value, but often as a point source of concentration. A mineralised vortex in the sense of this study will have more widespread potential to cause health concerns. The reason is the fractal based microscopes fluid path on a niche scaled principal, scaling down from epicentres of the Polygonal Vortex Mineralisation Model. This leads to pervasive disseminated mineralisation permeating large volumes of country rock within such vortices, while their epicentres may or may not be occupied by higher grade mineral deposits. When they are, they are also usually larger than point source orogenic style gold deposits for example. In addition the pervasive mineral tenure of vast isolated and under explored regions may not have all point sources located so be of limited value compared to generating Polygonal Vortex based health indices. Another reason is that broad brush assumptions about geological environment health risks from based regional maps are too coarse. Finally the predictive component of the polygonal vortex mineralisation model has yielded vortices that have previously not been known to carry disseminated pervasive mineralisation and this predictive component is of potential value to Medical Geology. The Zulu Mineralisation Corridor for example comprises a slice of terrain of approximately 165 square kilometres containing extensive though discrete areas of base metal anomalism, most having no historically recognised mineral deposits despite extensive exploration over 150 years. There is also greater potential for disseminated low grade mineralisation over regions conforming to a Vortex of 25 to 500 square kilometres in the case of vortex clusters. These will permeate the environment with disseminated mineralisation more widely, also increasing bioavailability of metals to the food chain, enhancing probability of wide scale long term chronic exposure. Cancer and cardio vascular disease is significantly higher in zones of NE Victoria than the national average and a more detailed study based on



geologically derived health indices such as those generated from the Polygonal Vortex Mineralisation Model is recommended.

## CONCLUSION

Two concepts are presented, *Polygonal Vortex Based Mineralisation Model* and "Geologically Based Public Health Indices derived from this model of mineralisation. They also highlight the possibility of adapting a diverse range of computer based procedures, including neural networks that exploration geologists have developed as mineral exploration tools to generate indices of public health predictors. To the author's knowledge this is the first time such concepts have been made, and where predictions of the proposed model "The Polygonal Vortex Mineralisation Model" could be tested. As some of the indices data may be generated by remote sensing and modelled on a GIS basis this concept may have significant utility for public health predictions, given that diverse geological parameters and modalities are increasingly recognised as having potentially serious health consequences through chronic exposures to base metals, organic compounds, radio nuclei and a variety of minerals. There is growing realisation such geological factors cause, confound or exacerbate, sometimes synergistically, health problems including parasitological, inflammation, toxic and carcinogenic parameters, resulting in a variety of metabolic, vascular, neurological and oncological health issues.

Polygonal vortex guided indices, should be given a higher rating where the vortices intersect special contributing factors that involve the accumulation of metals and organics such as coincident Grabens. These should form part of an overall indices evaluation that includes anthropogenic factors as overall risk factors in the form of indices. Eventually as research into geologically based indices proceeds, these could conceivably be integrated into mainstream epidemiological studies, which are increasingly taking cultural aspects into consideration. The authors suggest biological model testing of multiple factors simultaneously reflecting combined anthropogenic risk, cultural amelioration or risk factors, and geological risk factors may be one way to gain insight into the dynamics of disease that reflect specific natural or combined natural and anthropogenic settings. We feel single factor studies or bio indicators may be misleading, and that these studies should incorporate the natural or anthropogenic geological domain as possible confounding factors to mainstream anthropogenic components modelled in epidemiological studies. To summarise, a new tool is proposed to assist the study of Medical Geology, the "**Polygonal Vortex Mineralisation Model**". It is proposed that in vast unexplored areas in terms of public health and mineralisation, this could be an initial step to gain potential indices of health concerns. Such knowledge, particularly in similar geological terrains to the type section, namely Latin America, or the reduced intrusive gold related system belts such as the Tintina belt stretching from North America through Eurasia would be invaluable to plan and guide future demographic and epidemiological works of many kinds linked to "Medical Geology", an emerging discipline. It is the author's expectation this paper will engender research into the validity and utility of the proposed concept of "**geologically based public health indices**" which may serve as a first principals approach to development of Medical Geology and as a subfield of this new discipline in the interests of public health, particularly in developing countries or where epidemiological guidance is sparse. It may also serve as a warning where such indices overlap epidemiological work that concluded, perhaps erroneously; only single anthropogenic causative factors exist, such as industrial, agricultural, or other singular factors such as parasitological. Rather, high coinciding indices suggests additional confounding factors are involved relating to Medical Geology



that require multilevel modelling. A possible example of this situation is presented, the Ovens Graben of Australia.

## REFERENCES

- Belton et al., 1985., in *Essentials of Medical Geology* 2004, p564
- Chi Dang and Wen-Chien Chou *Journal of Clinical Investigation* (vol 108, p 1) in *Arsenic's cancer paradox resolved*, Robert Adler, *New Scientist*, 14 November 2001
- Essentials of Medical Geology*, Edited by Selinus, O., Alloway. B., Centeno. J., Finkelman, B., Fuge, R., Lindg, U., Smedley.
- Hartman R., Ford J. *Nature Genet* 2002;32: doi:10.1038/ng953
- Hochwimmer, Bernhard Rupert. Internal reports on Dart Exploration License; Minerals and Petroleum Department of Primary Industry, Victoria, Australia,. B. Hochwimmer & Associates Pty Ltd, Geological consultants; Minerals Exploration, Mining Geology and Environmental Geology, 2004.
- List, A., *Leukemia* (2003) 17, 1499-1507
- Menendez. Javier., *Annals of Oncology*, DOI: 10.1093/annonc/mdi090 in Philip Cohen. P., Olive oil may reduce breast cancer risk, *New Scientist*, 15 January 2005 From magazine issue 2482 News
- Rui., 2004 Transcription factor activation linked to favourable breast cancer prognosis. *J Clin Oncol* ;22:2053-2060.
- Shiekhhattar. R., *BRCA2* 2001. Previously implicated in the repair of DNA regulates cell cycle progression, *Cell*, January 26 2001
- Simeonova et al, 2000., in *Essentials of Medical Geology* 2004, p566.
- Ya Jun Hu., Diamond, A.M., Diamond., Polymorphism lowers selenium response, which may increase breast cancer risk *Cancer Research* 2003;63:3347-3351 in Gale K., *Reuters Health*, June 20, 2003.



## **ESTUDIO DE LAS ANOMALIAS ESTRUCTURALES DETECTADAS EN LAS LINEAS SISMICAS DEL SECTOR SUR-OCCIDENTAL DE LA ZEE DE CUBA EN EL GOLFO DE MEXICO.**

B. René Domínguez Garcés, Sonia Toucet Tellez, Juan G. López Rivera.

DIGICUPET. Calle 23 # 105 e/ O y P. Vedado, C. Habana. C.elec digicupet@cupet.minbas.cu.

### **RESUMEN**

Actualmente la ZEE de Cuba en el Golfo de México cuenta con un grado de estudio muy superior al que presentaba cinco años atrás. Luego de la campaña de adquisición de datos sísmicos que realizara la CGG en el segundo semestre del 2004, han sido diversos los trabajos de índole geólogo-petrolera que se han llevado a cabo en toda esta gran región ubicada al Noroeste de la isla de Cuba. En La zona occidental de la ZEE se han realizado varios trabajos de interpretación de la sísmica presentados por DIGICUPET. Los mapas estructurales han estado referidos fundamentalmente a la Discordancia del Cretácico Medio.

Por lo que se ve en las construcciones estructurales y en las secuencias sedimentarias que afloran en la provincia de Pinar del Río se puede decir que la estructura geológica profunda, ofrece grandes perspectivas para la exploración petrolera, pero los mapas construidos hasta el momento eran muy conservadores en cuanto a la expresión de algunos altos estructurales que resultaba difícil de seguir de una línea a otra. La experiencia de los trabajos realizados en la zona oriental de la ZEE nos ha brindado una noción sobre la talla de los objetivos geológicos que podemos encontrar bajo las aguas de esta parte del Golfo de México. También sabemos un poco más sobre sus orientaciones y las posibles asociaciones geológicas a partir de estudios de sismo-estratigrafía. Ahora se realizó una nueva cartografía sismo-geológica realizada al nivel de la MCU en los bloques de la parte occidental de la ZEE. El mapa obtenido tiene como principal utilidad, la localización de sectores perspectivas para orientar futuros trabajos de continuación de la exploración. Se precisó la posición de las anomalías del corte sísmico referidas a la MCU, que pueden estar ocasionadas por algunos de los potenciales reservorios pronosticados.

Se localizaron 14 anomalías: 9 asociados al borde de la plataforma y 5 bajo la cuenca de antepaís. Las que aparecen en los bordes de plataforma de Yucatán coinciden con las franjas de brechas de talud o arrecifes.



### **3D PRE-STACK DEPTH MIGRATION ON CUBAN OFFSHORE DATA.**

Stefan Kaculini, Barbara Wingate, Alan Evenson

CGG Canada Services Ltd, Suite 500, 404 – 6th Avenue S.W., Calgary, Alberta, Canada, T2P 0R9, E-mail:skaculini@cgg.com; bwingate@cgg.com; aevenson@cgg.com.

The 3D Prestack Depth Migration (3D-PSDM) is a powerful tool used to exactly image the geology below the earth's surface. With the recent impressive increase of computer calculation power (especially through the use of PC clusters), 3D-PSDM has become very attractive and it is now at the centre of seismic processing.

3D-PSDM is especially useful in the presence of strong lateral velocity variations. Complicated geological context – like Cuban fold and thrust belt – generate a very complex wavefield. 3D-PSDM is the only seismic processing tool that can be utilized to transform it in an accurate depth image. Successful depth imaging projects strongly depend on two aspects: an accurate algorithm and a detailed depth velocity model. In this paper, we will show CGG's capabilities on both these aspects. The major steps of a 3D-PSDM project will be explained through synthetic and real data examples. Moreover, the application of 3D-PSDM on Offshore Cuban data will be presented. By comparing 3D Prestack Time with 3D Prestack Depth migrated data, we will show the significant improvement obtained using 3D-PSDM.

Another aspect of a successful 3D-PSDM project is the turnaround. We will show that using CGG's proprietary depth imaging software, GeoVista, we are able to give not only a high quality product, but also very competitive turnaround. GeoVista consists of a full set of computation, interpretative and graphical tools that can read and write in the same database. This facilitates the transfer of data between different tools inside of GeoVista and as a consequence, contributes to minimizing the overall project turnaround.

## **LA SÍSMICA IDENTIFICA RESERVORIOS Y SELLOS EN LA ZEE DE CUBA EN EL GOLFO DE MEXICO. COMPARACIÓN CON AFLORAMIENTOS EN EL ONSHORE CUBANO**

Silvia Valladares, Rafael Segura, José Alvarez, José Fernández, José Hernández, Olga Castro, América Sorá, Sonia Toucet, Sofía López, Margarita Juara, Rolando García

*Centro de Investigaciones del Petróleo*

Las principales rocas reservorio en Cuba corresponden a rocas carbonatadas que abarcan un rango estratigráfico desde el Jurásico Superior hasta el Paleoceno Superior. Las mismas están presentes tanto en los yacimientos ubicados en la parte terrestre de Cuba como en la parte marina que ha sido poco explorada. Los reservorios no mantienen su porosidad primaria pero han sido afectados por diversos procesos diagenéticos que le imparten sus propiedades actuales como tal llegando a tener valores de porosidad promedio del 15% y permeabilidad mayor de 1 Darcy.

En la parte terrestre es difícil obtener una imagen sísmica que logre diferenciar la compleja estructura interna de los reservorios, sin embargo en la parte marina se obtienen imágenes sísmicas que permiten identificar tanto los fenómenos deposicionales, como los que caracterizan los procesos que los convierten en reservorios. Así se pueden observar rocas de ambiente de plataforma, talud, de cuenca y los procesos de carsismo superficial y profundo.

Los autores han observado en afloramientos fenómenos similares a los identificados por la sísmica, los cuales le agregan valor a la interpretación.

Las principales rocas sello en la parte terrestre de Cuba corresponden a rocas arcillosas que abarcan un rango estratigráfico desde el Eoceno Inferior hasta el Oligoceno. También pueden ser identificadas, aunque con menor definición, por imágenes sísmicas y en afloramientos.

## FAMILIAS DE PETRÓLEOS CUBANOS. CORRELACIÓN CON OTRAS ÁREAS EN EL GOLFO DE MÉXICO

**J. O. López Quintero<sup>(1)\*</sup>, O. Pascual Fernández<sup>(1)</sup>, O. Delgado López<sup>(1)</sup>, J. G. López Rivera<sup>(1)</sup>**

*(1) Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) Washington No. 169, Cerro, La Habana 12000, Cuba  
Teléfono (537) 577301, Fax (537) 6426021, E-mail: jorlando@ceinpet.cupet.cu*

En el territorio insular cubano se ha definido la existencia de tres familias de petróleos bien identificadas y con rasgos de diagnóstico sólidamente establecidos, que son las siguientes: Familia I: Petróleos originados a partir de materia orgánica tipo II - IIS; depositada en ambiente marino carbonatado muy anóxico, confinado (hipersalino?). Familia II: Materia orgánica tipo II, con aporte terrestre, depositada en ambiente marino, muy carbonatado, anóxico. Familia III: Materia orgánica tipo II (I-II), depositada en ambiente marino siliciclástico subanóxico a subóxico con mayor o menor aporte terrestre.

Se establecen correlaciones entre los petróleos de las tres familias cubanas, los presentes en la Cuenca del Sureste de México y los detectados en el pozo 535 del Proyecto de aguas profundas del Golfo de México. La Familia I cubana correlaciona con los de la Subfamilia 2a en Salinas y con el del pozo 535. Se correlacionan los de la Familia II cubana con los de la Subfamilia 2b de Chiapas – Tabasco – Campeche y los de la Familia III cubana con los de la Subfamilia 2c, presente en la parte occidental de Salinas.

**Palabras clave:** petróleo, biomarcadores, ambientes de sedimentación, maduración.

## LA IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS PETROLEROS EN LA PLATAFORMA DE CÓRDOBA

S. Ortuño Arzate

*Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Lázaro Cárdenas no. 152, México, D. F.*

La Plataforma de Córdoba es una plataforma de sedimentación carbonatada que evolucionó desde el Neocomiense Temprano hasta el Maestrichtiense. Su etapa de sedimentación carbonatada es terminada, en algunas áreas, con la llegada de la sedimentación de tipo flysch durante el Campaniense, la cual se extiende hasta el Maestrichtiense e incluso al Paleoceno.

En la actualidad el Frente Tectónico Sepultado es el sector más importante como productor de hidrocarburos, ya que posee amplios desarrollos de rocas carbonatadas con características adecuadas de porosidad y permeabilidad de origen sedimentario – diagenético y de fracturamiento. En este sector se han llevado a cabo importantes actividades de exploración, así como en las áreas correspondientes a la Cuenca de Veracruz, que se extiende en la planicie costera del Golfo de México.

La identificación y modelado numérico de los sistemas petroleros involucrados en los campos productores del Frente Tectónico (sus elementos y procesos), comprenden la evolución cinemática, la historia térmica, y la maduración de la materia orgánica y del kerógeno durante la evolución geológica de la Plataforma de Córdoba y la Cuenca de Veracruz. Estos modelos numéricos han sido apoyados con los datos geoquímicos y geológicos disponibles.

Los datos disponibles permiten realizar el modelado cinemático de la evolución tectónica de la plataforma, desde la etapa no deformada hasta la condición actual. Asimismo, los datos sobre la termicidad han permitido calcular temperaturas máximas en la región central y oriental de la plataforma, cercanos a los 60 °C, mientras que se calculan temperaturas bastante más altas hacia la Cuenca de Veracruz.

Las rocas potencialmente generadoras tienen una distribución no uniforme y restringida en la serie sedimentaria de la Plataforma de Córdoba. Sin embargo, en la Cuenca de Veracruz, parece evidente que éstas tengan una distribución regional más significativa. Por ejemplo, las rocas del Tithoniense - Kimmeridgiense tendrían una importante distribución en la Cuenca de Veracruz, encontrándose a profundidades cercanas a los 10 mil metros de profundidad (Ortuño *et al.*, 1999).

Otras rocas generadoras identificadas son las correspondientes al Turoniense, las cuales tienen una amplia distribución a partir de la porción oriental de la Plataforma de Córdoba, Frente Tectónico, hasta la propia Cuenca de Veracruz. En estas condiciones, es muy poco probable la existencia de rocas generadoras hacia la parte occidental de la Plataforma de Córdoba o hacia la llamada Cuenca de Zongolica, cuyos límites son eminentemente tectónicos. Los relictos sedimentarios de ésta última presentan evidencias de fuerte deformación tectónica así como avanzada evolución térmica que permiten



pensar en condiciones de supermadurez de la cuenca y de un sistema, o sistemas petroleros ya inactivos.

De acuerdo a la distribución de las potenciales rocas generadoras reconocidas y los resultados del modelado térmico, parece evidente que las acumulaciones de hidrocarburos conocidas actualmente en los yacimientos del Frente Tectónico de la Plataforma de Córdoba, son derivadas de zonas de generación o sistema petroleros muy recientes, desarrollados fundamentalmente hacia la Cuenca de Veracruz y las áreas adyacentes profundas contiguas a este Frente Tectónico. Esta evolución y madurez de los sistemas petroleros sería cronológicamente posterior a la conformación tectónica del Frente Tectónico (Ortuño *et al.*, 1999).

El hundimiento tectónico resultante de la evolución del Frente Tectónico, al parecer no fue suficiente para lograr la adecuada maduración del kerógeno; fue necesaria la colmatación sedimentaria posterior ocurrida durante el Neógeno en la Cuenca de Veracruz para que las rocas generadoras del Jurásico Superior alcanzaran la ventana de generación de hidrocarburos. Por tanto, es el incremento de la subsidencia de la Cuenca de Veracruz durante el Neógeno, el control dominante en la maduración y distribución de las rocas generadoras en la cuenca.

La dinámica anterior significa, por tanto, que la migración de hidrocarburos ocurrió hacia el occidente, desde las rocas generadoras situadas en la Cuenca de Veracruz, y en forma ascendente para conformar acumulaciones en las estructuras del Frente Tectónico de la Plataforma de Córdoba. Asimismo, las rutas de migración de los hidrocarburos pudieron haber alcanzado la discordancia situada entre el Cretácico Superior – Paleoceno y el Eoceno – Mioceno, para alojarse en rocas más recientes o ser posteriormente biodegradados.

Esto significaría que podrían encontrarse también acumulaciones de hidrocarburos en los niveles inferiores de los actuales yacimientos del Frente Tectónico (*v. gr.* Miralejos, Cópita, Mecayucan, Angostura, etc.), por debajo del nivel de despegue que imbrica, y duplica asimismo, los duplex tectónicos del Frente.

Por otro lado, las manifestaciones superficiales de hidrocarburos en las rocas de la Plataforma de Córdoba, particularmente en el sector occidental, podrían sugerir la migración y procedencia de algunos horizontes generadores en el interior de la serie de la plataforma (series del Cretácico Inferior o del Turoniano), o bien, de la serie sedimentaria de la Cuenca de Zongolica, situada hacia su límite más occidental. Sin embargo, estas hipótesis se encuentran poco sustentadas por los datos disponibles hasta ahora.

**Palabras clave:** Plataforma de Córdoba, Frente Tectónico, Cuenca de Veracruz, Cuenca de Zongolica, sistema petrolero, rocas generadoras

#### Referencias:

Ortuño A., S., Ferket, H., Swennen, R., Cacas M. C. and Roure, F., 1999., Mexican Transects across the Platform and Veracruz Basin; Subtrap 1998, Internal Report Institut Francais du Pétrole, France.



## REGIONALIZACIÓN TECTÓNICA DE LA ZEE DE CUBA EN EL GOLFO DE MÉJICO SEGÚN LOS CAMPOS POTENCIALES.

**Carlos E. Sánchez Alarcón<sup>(1)</sup>, José L. Prol Betancourt<sup>(2)</sup> y Raúl R. Gómez<sup>(3)</sup>**

(1)Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)  
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.  
Email: [eduardo@digicupet.cu](mailto:eduardo@digicupet.cu)

(2)Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)  
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.  
Email: [prol@digicupet.cu](mailto:prol@digicupet.cu)

(3)Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET) (DIGICUPET)  
Calle 23 # 105 e/ O y P, Vedado, Ciudad Habana, Habana 4, Cuba.  
Email: [raulgomez@digicupet.cu](mailto:raulgomez@digicupet.cu)

### RESUMEN

*El procesamiento y posterior interpretación de la información gravimétrica obtenida en la ZEE nos permitió definir en el Mapa de Anomalías en Reducción Bouguer dos regiones diferentes por la intensidad del campo gravitacional y por el carácter cualitativo de las anomalías. En general, un cambio de este tipo indica que en algún lugar existe una falla que separa dos ambientes geofísicos diferentes.*

*Partiendo de mapas de gradientes se constató que existe una alineación en esa zona de cambio que prolongada hacia el territorio cubano coincide con la denominada Falla San Andrés. Por último, todos estos datos fueron llevados a un mapa de regionalización, obtenido a partir de un mapa residual con radio de 8 Km. que nos permitió establecer zonas que consideramos de interés para posteriores trabajos de detalle:*

- *Grandes espesores sedimentarios, al sur, en los que es de esperar la presencia de rocas colectoras y al norte esos grandes espesores pueden incluir facies de borde de plataforma.*
- *Posibles elevaciones de los sedimentos eocénicos o del Cretáceo Inferior bajo sedimentos más jóvenes.*
- *Posibles zonas de bancos carbonatados y asociados a estos lugares favorables al crecimiento de formaciones arrecifales. En ese sentido, los flancos de bancos y la región inmediata a ellos son perspectivas para el hallazgo de estructuras del tipo Pinchout.*

### ABSTRACT

*Processing and later interpretation of the gravimetric information obtained in the ZEE permitted us to define in Bouguer Map two different zones. These areas are different for the intensity of the field and for the qualitative character of the anomalies. In general, a change of this type indicates that in some place there is a fault that separates two different geophysical atmospheres.*

*The map of gradients confirmed that an alignment exists in that area of change that lingering toward the Cuban territory it coincides with the one denominated Fault San Andrés.*

*Lastly, all these data were taken to a compile map, obtained from a residual map with radio of 8 Km. that allowed us to determine areas that we consider of interest for later detail works to settle down:*

- *Big sedimentary thickness, to the south, possibly with presence of collector rocks and to the north those big thickness can include facieses of platform border.*
- *Possible elevations of MCU low younger silts.*
- *Possible areas of carbonated banks and associated to these favorable places to the growth of reef formations. In that sense, the flanks of banks and the immediate region to them are perspectives for the discovery of structures of the type Pinchout.*

## INTRODUCCIÓN

La presencia de dos medios cuantitativa y cualitativamente diferentes, fácilmente visibles en los mapas gravimétricos que se exponen en este trabajo, indican la presencia, por tanto, de dos medios geológicos diferentes. La ubicación de una falla que los separe es parte importante en este trabajo.

Un aspecto en que los datos gravimétricos ofrecen gran apoyo a la interpretación geólogo- geofísica es precisamente en delimitar zonas de grandes espesores sedimentarios y zonas en que los altos valores de anomalías en reducción Bouguer nos hace pensar en la presencia de bancos carbonatados similares a los que se encuentran al norte de las provincias centrales.

La extensión hacia el norte del Cinturón Plagado Cubano se manifiesta con gran claridad en los mapas gravimétricos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales primarios empleados en el procesamiento e interpretación de los datos correspondientes al área son los obtenidos simultáneamente con el levantamiento sísmico por la firma Fugro LCT para CGG entre el 29 de junio y el 12 de septiembre del 2000. Se trata de un levantamiento de a bordo (barco "Académico Lazarev") llevado a cabo sobre las líneas del levantamiento sísmico (Fig.1). Según el informe de los trabajos [4] las mediciones fueron corregidas por los efectos de "Cross- Coupling", "Eötvös" y "Luna y Sol".

El levantamiento está enlazado a la Red Nacional de 1969 (punto Puerto Habana). En el informe mencionado se dice que para realizar la Reducción Bouguer fueron efectuadas en un solo paso la corrección de capa intermedia y la de relieve. Se asume una densidad igual a  $2.2 \text{ g/cm}^3$  para los sedimentos del fondo marino, por lo tanto la corrección incluye el contraste dado por la diferencia  $2.2 - \sigma_a \text{ (g/cm}^3\text{)}$ , dónde  $\sigma_a$  es la densidad del agua salada [4, p-10].

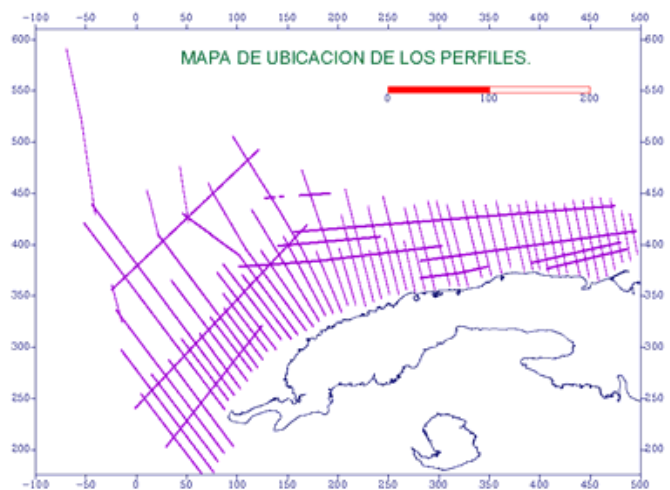


Fig. 1. Mapa de Ubicación de los Perfiles

La corrección del Campo Normal fue realizada según la fórmula del Geodetic Reference System (GRS 67) del año 1967. Según el texto del reporte de Fugro, sobre las líneas de

PRIMERA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2005.  
Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.



medición fue aplicado un algoritmo de nivelación para repartir en toda la red las discrepancias que se reportan en los cruces de los perfiles.

### Procesamiento de los Datos.

Para el procesamiento y final obtención de los Mapas que se presentan en este informe se emplearon diferentes filtros: filtraje Gaussiano [3] con coeficientes definidos por especialistas de nuestro grupo (en la práctica, los filtros Gaussianos con  $K=4$ ,  $K=8$ ,  $K=16$  Y  $K=32$  producen mapas regionales que al restarse ofrecen excelentes cuadros residuales del campo gravitacional) y filtros que vienen definidos en el propio software. Todos ellos, en dependencia del objetivo que se persigue, eliminan unas frecuencias u otras. De esta forma se obtienen mapas con un carácter regional o más local.

### Acerca de las Anomalías Regionales.

En el Mapa de Anomalías en Reducción Bouguer (Fig.3) se muestran dos regiones, perfectamente visibles, diferentes por la intensidad del campo gravitacional y por el carácter cualitativo de las anomalías.

En general, un cambio de este tipo indica que en algún lugar existe una falla que separa dos ambientes geofísicos diferentes. La zona occidental se caracteriza por la presencia de una zona de máximos, en tanto, en la zona oriental predomina un mínimo regional. En los mapas residuales se muestra también el cambio. Así, en la región oriental las anomalías conservan un rumbo este-oeste, en tanto que en la zona occidental las anomalías se orientan con azimuth noreste.

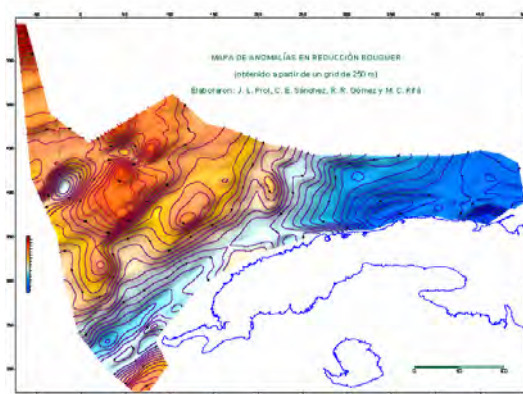


Fig.3. Mapa de Anomalías en Reducción Bouguer

Hasta ahora, sólo ha sido supuesta la existencia de la falla por el carácter cualitativo de los campos, sin precisar su ubicación. Es conocido que los gradientes de los campos potenciales son indicadores para la ubicación de fallas. Por ese motivo fueron obtenidos los gradientes de dos mapas residuales; el primero había sido obtenido mediante una media móvil con radio de 8 Km., el segundo comprende la resta de dos medias móviles de 8 y 20 Km. respectivamente. Una vez obtenidos los gradientes horizontales de estos mapas, ambas matrices fueron sumadas. Se cumple que los eventos coherentes se refuerzan, en tanto, se anulan aquellos que poseen una baja correlación. Así aparece una alineación (Fig.4) donde los ejes de las anomalías se interrumpen y cambian su rumbo

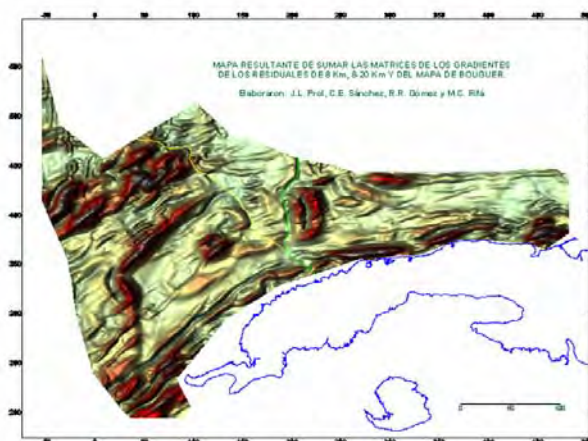


Fig.4. Mapa en relieve sombreado resultante de sumar las matrices de los gradientes de los residuales de 8 km, 8 - 20 km y del Mapa de Bouguer.



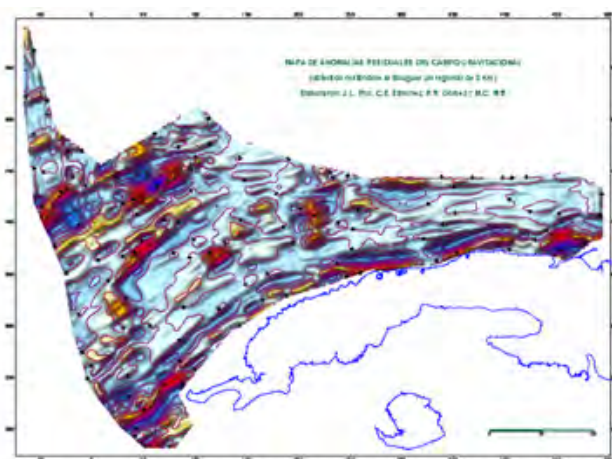
bruscamente. Resulta notable el hecho de que la alineación mencionada, cuando la prolongamos al territorio cubano, coincide con la denominada Falla San Andrés. Ésta falla es visible en el mapa geológico de Cuba a escala 1:500 000 [2]; y separa las rocas cretácicas de la Sierra del Rosario de los sedimentos jurásicos de la Sierra de los Órganos. Otra alineación visible en el mapa, con azimuth promedio igual a  $0^\circ$ , parte de la anterior y bordea por el este al Knoll de Jordan.

## Acerca del Mapa de Regionalización del Campo Gravitacional.

### Sector Oriental.

El Mapa de Regionalización (Fig.6) fue confeccionado a partir de un mapa de anomalías residuales con un radio de 8 Km (Fig. 5). A primera vista una cadena de mínimos locales corre paralelamente a la costa norte de la isla. Dentro de esta secuencia de mínimos, las anomalías definen la parte frontal del Cinturón Plegado Cubano (CPC); de manera que su gradiente norteño señala el final de las rocas plegadas y corridas. La interpretación de los datos sísmicos, cuyos resultados han sido comparados con los mapas residuales y de gradientes, confirma esta coincidencia. Esta secuencia de mínimos puede ser entonces generada por un gran apilamiento de sedimentos depositados y plegados en la última etapa de la orogenia.

Dentro del CPC, se destaca una cadena de máximos locales alargada paralelamente a los mínimos locales mencionados más arriba. Los máximos son generados por cuerpos densos, cuya naturaleza geológica es, dado el estado actual del grado de estudio, muy difícil de pronosticar. No debe olvidarse que apenas a 1 Km. al sur de Boca de Jaruco, en



el pozo Basilio, existe un corte eminentemente ofiolítico, lo que también se cumple en los pozos Mariel. En ese sentido, suponer la presencia de cuerpos de ultrabasitas imbricados en una trama de complicados plegamientos, es una posibilidad a tener en cuenta.

Por otra parte, al norte de la Bahía de Matanzas, se destacan dos máximos locales intensos y bien definidos, cuyo origen pudiera estar dado por un potente espesor de calizas de banco, reconocidas en el pozo Cayo Blanco

al noreste de la península de Hicacos.

Fig.5. Mapa de Anomalías Residuales del Campo Gravitacional

En cuanto al mínimo localizado inmediatamente al norte de la Bahía de Matanzas, no cabe la menor duda de que esta dado por los apilamientos de las UTE Placetas y Camajuaní, cuya densidad contrasta negativamente con rocas más densas al norte y al sur.

Al parecer, una zona de plataforma relativamente densa se extiende al norte de la región (Fig. 6). En el corte geológico que la genera debe predominar una densidad relativamente alta, dada posiblemente por dolomitas y anhidritas similares a las cortadas en los pozos Cayo Coco 2, dentro de las cuales algunas variedades alcanzan  $2.94 \text{ g/cm}^3$ . [1]. Por su parte en el corte que genera la plataforma, que hemos denominado de muy baja densidad, pudieran coexistir sales o, inclusive, sedimentos de facies más profunda, los que contribuirían a una disminución relativa de la densidad media ponderada. Dentro de esta amplia región de plataforma existen además mínimos probablemente ocasionados por un aumento considerable de sales en el corte, o por cuencas jóvenes depositadas sobre las calizas de banco. Por supuesto que aquellos mínimos más intensos y mejor definidos, tienen mayores posibilidades de estar condicionados por la presencia de sales.

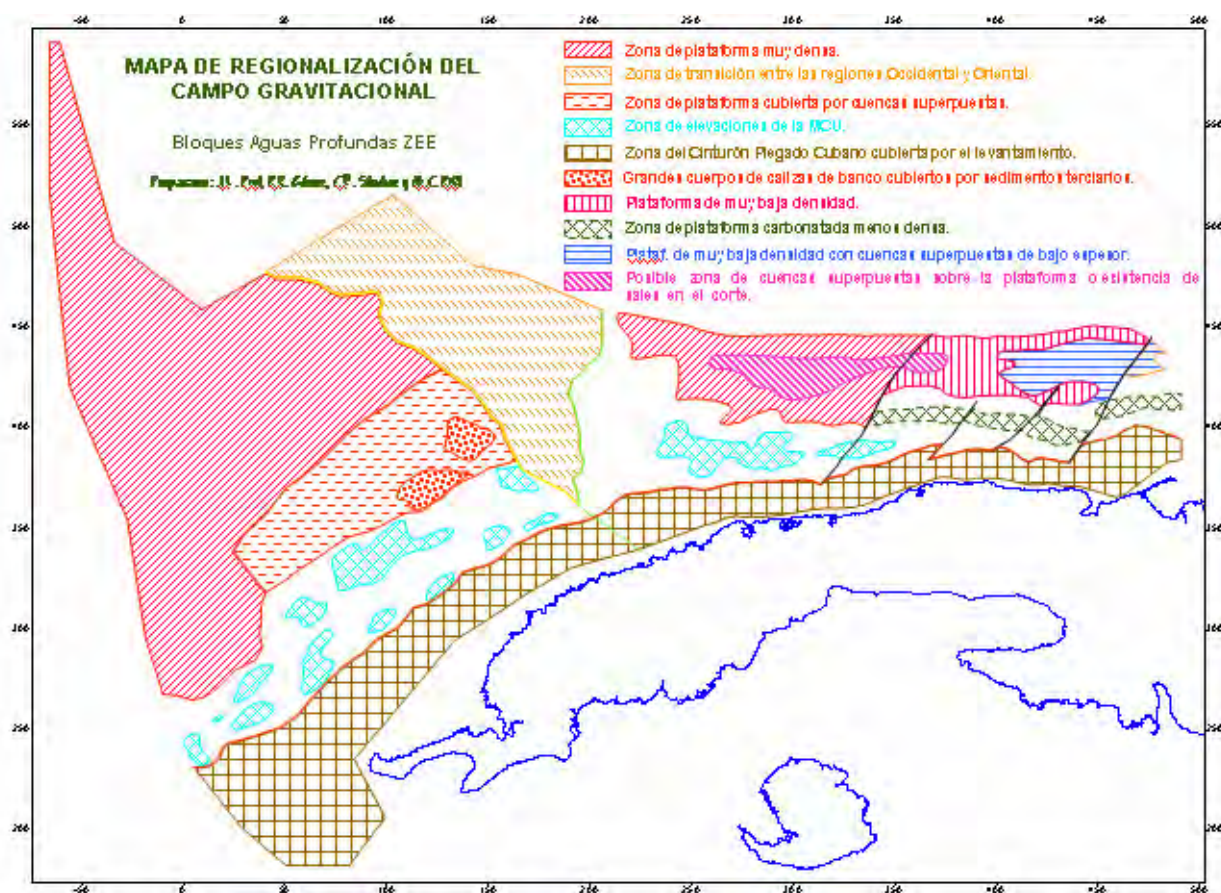


Fig.6. Mapa de Regionalización del Campo Gravitacional.

De todo lo anterior se desprende que entre las zonas de plataforma y el Cinturón Plegado Cubano se desarrolla la Cuenca de Antepaís donde se manifiestan anomalías de interés desde el punto de vista petrolero. En ese sentido dichos máximos pudieran estar relacionados con la elevación de sedimentos de facies profunda bajo la Discordancia del Cretáceo Medio (DCM), dado que en los registros sísmicos dicha frontera se destaca como un poderoso contraste de impedancia acústica. De cualquier manera no se descarta



totalmente la posibilidad de que al máximo contribuyan fronteras más profundas que la (DCM). Otro punto de vista sostenemos en torno a los máximos que aparecen dentro de la plataforma carbonatada menos densa que parecen corresponder a carbonatos cuya densidad debe ser menor, debido posiblemente a la presencia de sedimentos de facies más profunda dentro del corte de calizas someras.

## **Sector Occidental.**

Para este sector fueron separadas las regiones de interés petrolero, que mencionaremos a continuación, y que han sido señaladas en el Mapa de Regionalización (Fig. 6)

En el Cinturón Plegado Cubano podemos encontrar máximos gravimétricos que responden a partes elevadas de los mantos de rocas densas de plataforma al norte o del Arco Volcánico la sur. Estos mantos pudieran contener trampas del tipo de escamas tectónicas. Inmediatamente al norte del CPC, es decir, en su zona frontal, aparece una cadena de mínimos dados por sedimentos sinorogénicos de muy baja densidad. Por el gran espesor sedimentario presente en el frente del CPC no se excluye la posibilidad de encontrar trampas y donde con mucha probabilidad abundan las rocas colectoras.

Dentro del gran máximo que constituye la plataforma carbonatada muy densa, con grandes espesores de calizas de banco, (Fig. 6) aparecen máximos locales, especialmente sus flancos, que pueden ser considerados lugares favorables al crecimiento de formaciones arrecifales, ya que éstas han existido en lugares elevados expuestos al mar abierto. Son precisamente los flancos de esos máximos y la región inmediata a ellos de los mínimos que los circundan los más perspectivas para el hallazgo de estructuras del tipo Pinchout.

Los mínimos ubicados al sur de la plataforma muy densa (dentro de la plataforma cubierta por cuencas superpuestas), asociados a grandes espesores sedimentarios, pudieran incluir facies de bordes de plataforma.

Al igual que para la parte Oriental, son perspectivas las zonas de los máximos locales ubicados en la Cuenca de antepaís por corresponder posiblemente con elevaciones de horizontes profundos de la Discordancia del Cretácico Medio y tope del Jurásico Superior y constituir, por tanto, trampas favorables a la acumulación de hidrocarburos migrados desde la cuenca.

## **CONCLUSIONES.**

Se puede demostrar que los datos a escala 1: 500 000 presentan una alineación notable del campo que extrapolada hacia el sur coincide con la denominada "Falla San Andrés".

El carácter del campo gravitacional al este y al oeste de la mencionada alineación es diferente, tanto por la intensidad de las anomalías, como por la dirección de sus gradientes; lo que inclina a suponer la existencia de dos medios geofísicos.

Son perspectivas:

Las zonas de máximos locales dentro de máximos regionales por ser lugares favorables al crecimiento de formaciones arrecifales.

Las zonas de mínimos; ubicadas inmediatamente al sur de los grandes máximos dentro de la plataforma por corresponder, posiblemente, con grandes espesores sedimentarios que pueden incluir facies de bordes de plataforma.

Las zonas de los máximos locales ubicados en la Cuenca de Antepaís por corresponder, en nuestra opinión, con elevaciones de la MCU y constituir, por tanto, trampas favorables a la acumulación de hidrocarburos.

Las zonas de máximos en los frentes de cabalgamiento dentro del Cinturón Plegado ya que pudieran contener trampas del tipo de escamas tectónicas.

La zona de mínimo ubicada al frente de los cabalgamientos en virtud de contener un gran espesor sedimentario plegado, de baja densidad, donde con gran probabilidad, abundan las trampas y rocas colectoras.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- [1] C. Shaposnikova. Propiedades Físicas de las Rocas de Cuba. Instituto de Recursos Hidráulicos. Publicación Especial N<sup>o</sup> 7, La Habana 1969.
- [2] E. Linares. Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1: 500 000. 1985.
- [3] Matemáticas Superiores. Cálculo Diferencial e Integral. Ya. S. Burov. S. M. Nikolski. Moscú. Editorial "MIR". 1984.
- [4] Slack, David, Walter, Stewart. Gravity and Bathymetry Survey Offshore North West Cuba. Gulf of Mexico. Processing Report prepared by Fugro- LCT Limited. November 2000.

## PROCESAMIENTO DE DATOS SÍSMICOS DEL CINTURÓN PLEGADO Y SOBRECORRIDO CUBANO.

Autores: Ing. Nancy Sterling Baños(1), Ing. Héctor Díaz Concepción(2).

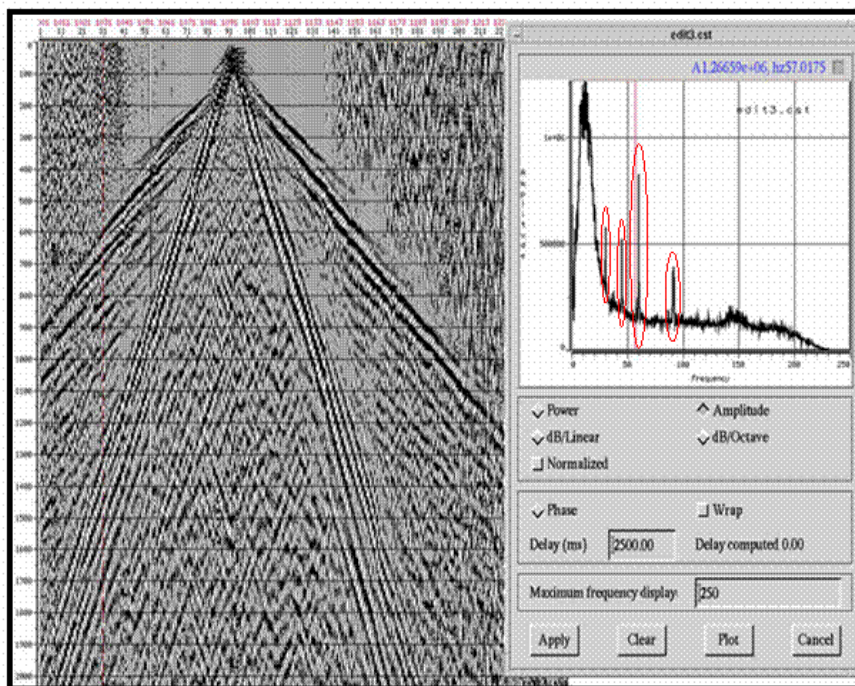
(1) UCTB de Investigaciones Geofísicas, CEINPET.

(2) UCTB de Investigaciones Geofísicas, CEINPET

En el trabajo se explican los factores fundamentales que influyen en la definición de la secuencia de procesamiento a utilizar en cada proyecto, así como las características principales de esa influencia. También se expone las secuencias de procesamiento aplicadas por nuestros especialistas en Digicupet a los datos, tanto de áreas terrestres como marinas, del cinturón plegado y sobrecorrido cubano. Además se refieren algunas experiencias relacionadas con el tratamiento de fases y amplitudes de los registros sísmicos y la atenuación de ruidos aleatorios y coherentes.

Se le presta especial atención a ese aspecto durante el procesamiento con migración antes de la suma, atendiendo a que los ruidos, si no se atenúan previamente antes de la migración, se migran con los datos distorsionando la imagen sísmica. En el caso de la migración después de la suma ello no ocurre con la mayoría de los ruidos aleatorios, ni en gran medida con los coherentes, pues el proceso de suma en sí los atenúa considerablemente, reduciendo los remanentes que pueden haber quedado de un tratamiento menos riguroso.

En particular se tratan, entre otros, los ruidos inductivos, los picos anómalos de amplitud y el de tipo Ground Roll, en los registros terrestres, incluyendo los de más reciente adquisición, así como las ondas múltiples del fondo marino, que aparecen en forma evidente en los registros marinos, sobre todo de aguas medias a profundas, en los que generalmente se superponen sobre el resto de las ondas en los tiempos que duplican los del fondo marino, con amplitudes relativamente intensas, usualmente identificables.



Punto de tiro con ruidos y su espectro de amplitud

También se presentan algunas secuencias de procesamiento con migración después y antes de la suma aplicadas en centros de procesamiento en el exterior y los resultados obtenidos.

Como resultado se dan recomendaciones generales sobre la secuencia de procesamiento en las diferentes etapas de exploración.

## **CARACTERIZACIÓN SÍSMICA DE LA ZONA CENTRAL DE LA ZEE DE CUBA EN EL GOLFO DE MÉXICO**

Ing. América Sorá (1), Dr. Rafael Socorro(1), Tec. Blanca Sosa(1).

(1)DIGICUPET, Calle 23 No. 105 E/ O y P, Plaza de la Revolución, Ciudad De la Habana, Cuba. Telef. 879-2865. C. Eléct. [america@digicupet.c](mailto:america@digicupet.c).

Entre los meses de Abril a Junio del año 2003 fueron adquiridas por la compañía Sherritt un total de 2067 Km. líneas sísmicas en los bloques 16, 23, 24 y 33, En el trabajo se presenta la interpretación sísmica realizada por los especialistas de DIGICUPET.

Los datos sísmicos fueron procesados por la compañía WesternGeco donde se obtuvo como corte final la migración presuma en tiempo con los cuales junto con los cortes obtenidos por la Compañía General de Geofísica (CGG) en el año 2000, se realizó la interpretación geólogo-geofísica de los materiales.

El interés fundamental del trabajo es presentar la caracterización sísmica de la zona central de la ZEE de Cuba en el Golfo de México, la cual une la plataforma de la Florida y de Yucatán.

Se correlacionaron tres horizontes sísmicos asociados a:

- Discordancia del Cretácico medio.
- Tope del Jurásico.
- Tope del Kimmeridgiano.

Como resultado se construyeron tres mapas estructurales donde se han revelado 66 altos estructurales correspondientes a diferentes edades, los cuales se han agrupado seleccionando las áreas más perspectivas para continuar los trabajos en el área.



## **PROPUESTAS DE NUEVE REGULACIONES AMBIENTALES COSTA AFUERA PARA LAS OPERACIONES PETROLERAS EN EL GOLFO DE MEXICO**

Carlos Fariñas Hernández (1), Gustavo Chales Suárez (1), Belkis López Bouzarc (2)

(1) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington 169 esquina a Churruga, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. (2) Empresa de Ingeniería y Proyectos del Petróleo (EIPP) Empedrado 113 esquina Mercaderes Habana Vieja.

La ausencia de una legislación nacional específica en la rama petrolera marina, el silencio legislativo en lo que se refiere a la protección del medio ambiente para esta modalidad costa afuera y la fragilidad de nuestro entorno oceánico y costero, son factores que en conjunto no solo dejan sin control alguno el manejo y explotación de nuestros recursos sino que resultan un riesgo para nuestro estado por no contar con una de legislación concreta para este tipo de operaciones y para la seguridad de su medio ambiente.

A fin de dar una parte de la base jurídica necesaria a las actividades petroleras en alta mar y a la inversión correspondiente de modo que resulten aseguradas y lo menos perjudiciales posible para nuestro ecosistema marino y nuestro medio ambiente, han sido preparadas nueve regulaciones ambientales, las cuales estarán dirigidas a las mas apremiantes y riesgosas misiones de la compleja actividad petrolera de exploración producción costa fuera.

Estas son las siguientes:

1. Alcance del estudio de Línea de Base Ambiental para operaciones de exploración y explotación petrolera en el mar.
2. Alcance del monitoreo ambiental y métodos del muestreo, durante las operaciones de perforación y explotación petrolera costa afuera.
3. Administración de riesgos en las operaciones de exploración y producción de petróleo en el mar.
4. Tratamiento y disposición del agua producida costa afuera.
5. Alcance del plan de contingencias ante derrames de hidrocarburos durante las operaciones de perforación y explotación petroleras en el mar.
6. Manejo ambiental de sustancias químicas peligrosas empleadas en la ejecución de proyectos de exploración y explotación de petróleo costa afuera.
7. Control de emisiones atmosféricas durante las operaciones petroleras costa afuera.
8. Cierre temporal o abandono de pozos. Retiro de instalaciones al concluir las operaciones de perforación y explotación costa afuera.
9. Estrategia ambiental adoptada para la protección de áreas costeras sensibles.



## VARIANTES GEOFISICAS EN LA SOLUCION DE ALGUNAS TAREAS DE VALORACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA

**Eric M. Escobar Pérez**

*Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17 No. 61 e/ 4 y 6, Vista Alegre, Santiago de Cuba, CP 90 400, Cuba. Email: [eescobar@cenais.ciges.inf.cu](mailto:eescobar@cenais.ciges.inf.cu)*

### RESUMEN

La utilización de los métodos geofísicos en la solución de tareas de valoración de la vulnerabilidad sísmica no es nueva, sin embargo hay resultados que hacen que las soluciones posteriores sean mucho más fáciles de ejecutar. Se presentan resultados en dos áreas de estudio, con las tareas de la determinación de propiedades físico mecánicas del suelo in situ en lugar de emplazamiento de obras industriales, valoración de los fenómenos geológicos inducidos por microsismos provocados y mapear las posibles zonas tectónicas anómalas reflejadas por las discontinuidades geológicas a través de los campos físicos.

Para ello se diseñó un complejo de métodos geofísicos en diferentes variantes de ejecución, sísmica somera de refracción de tres canales, métodos eléctricos (SEV), georadar GPR, sismómetros y datos aerogeofísicos.

En la primera área de estudio se determinaron las propiedades elásticas de los suelos in situ correlacionándola con los datos de laboratorio, se determinó la presencia de intrusión salina y los posibles efectos para las obras en construcción, así como los parámetros patrones de suelo mostrando el comportamiento espectral del mismo.

En la segunda área se realizó una valoración integral de los efectos de los microsismos provocados, determinando a su vez los factores de amplificación del suelo, su relación con las afectaciones constructivas y las condiciones geológicas imperantes, sugiriendo en ambos casos la valoración sobre el riesgo sísmico y las consecuencias de no tener en cuenta las recomendaciones dadas.

### ABSTRACT

The use of the geophysical methods in the solution of tasks such as the valuation of the seismic vulnerability is not new, however, there are results that make possible that the solutions obtained later, can be much more easier to execute.

In this job, the results obtained from two study areas, with the tasks of the determination of physics-mechanical properties of the soil in situ, for the location place of industrial buildings, the valuation of the geologic phenomena induced by sintetic microseisms and the map of the possible anomalous tectonic areas reflected by the geologic discontinuities, through the physical fields, are presented.

To do it, a complex of geophysical methods used in different variants of execution, seismic shallow of refraction of three channels, electric methods (SEV), georadar GPR, seismometers and aero-geophysical data were designed.

In the first study area the elastic properties of the soil were determined in situ, correlating them with the laboratory data. The presence of saline intrusion and the possible effects that it has for the buildings under construction, as well as the patron parameters of the soil with the spectral behaviour of the soil are shown.

In the second area, an integral valuation of the effects of the sintetic microseisms, determining at the same time the factors of amplification of the soil, their relationship with the constructive affectations and the prevailing geological conditions, was done, suggesting in both cases the valuation on the seismic risk and the consequences of not keeping in mind the given recommendations.





## INTRODUCCION

Los terremotos, sismos o temblores de tierra, originados por la liberación súbita de la energía acumulada durante los procesos de deformación de la corteza terrestre, no constituyen eventos aislados en nuestro país. Terremotos moderados e incluso pequeños, pueden tornarse catastróficos cuando ocurren en lugares con una infraestructura no preparada para recibir su impacto. La ocurrencia de un terremoto destructivo puede tener consecuencias graves para el desarrollo sostenible de una región, por lo que el conocimiento por parte de planificadores, inversionistas y decisores en general, del nivel de peligro a que está sometido su territorio de influencia, les permitirá tomar las medidas adecuadas para enfrentar estas violentas manifestaciones de la naturaleza.

En la primera de las áreas de estudio, planta de tratamiento de agua, se planteo entre otras, la necesidad de cumplimentar investigaciones encaminadas a:

- Ejecutar mediciones instrumentales para la determinación de parámetros físico - mecánicos del suelo de sustentación de los objetos de obra por métodos de sismica somera, con la presentación de los parámetros de las capas detectadas.
- Determinar los parámetros patrones del suelo de sustentación en el sitio de construcción de la obra.

En la segunda zona se planteo realizar una valoración de los efectos de microsismos provocados, con las siguientes tareas:

- Determinación de propiedades físico mecánicas del suelo in situ.
- Cartografiar las posibles zonas tectónicas y anómalas que reflejen las discontinuidades geológicas a través de los campos físicos.
- Estudiar desde el punto de vista de la resistividad eléctrica en profundidad, las zonas donde están enclavadas las construcciones de mayor afectación.
- Analizar la respuesta dinámica de los suelos desde el punto de vista experimental, en busca de garantizar las condiciones sismorresistente de las instalaciones.
- Medición de los parámetros producto de las vibraciones debido a las voladuras (períodos de las oscilaciones del suelo y las estructuras) y análisis de las respuestas de estas estructuras.

En las figuras 1 y 2 se muestran las ubicaciones de los trabajos geofísicos en las dos zonas.

## DISEÑO DE LAS INVESTIGACIONES.

Para las mediciones de sismica somera de refracción se utilizó el Sismógrafo CE-3S, de tres Canales para Ingeniería Civil de la firma italiana PASI. Con las características técnicas siguientes:

Amplificaciones programables para cada canal.

3 canales de adquisición de datos

Visualización de cada canal.

Incremento total y parcial de la señal.

240 muestras de registro para cada canal.

Tiempo mínimo de muestras 31 microsegundos.

Tiempo máximo de muestras 3 milisegundos.

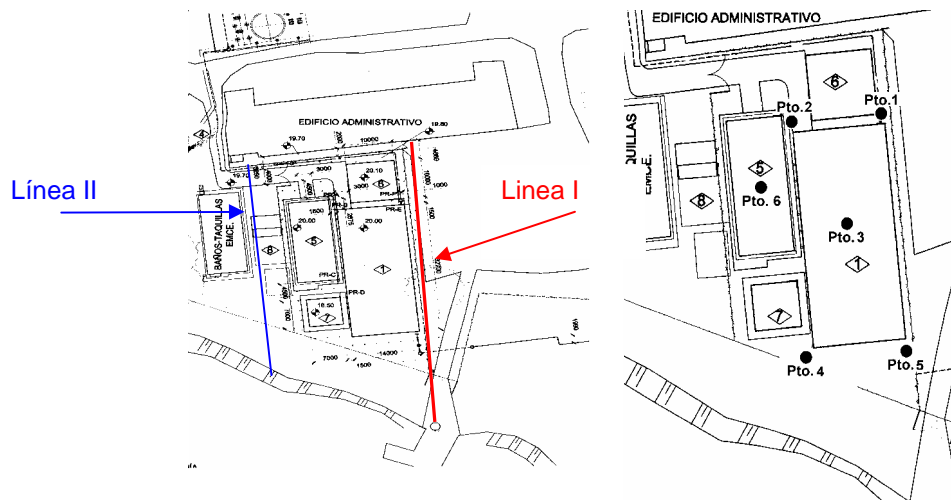


Fig.1 Ubicación de las líneas Sísmicas, de Georadar y de los 6 puntos de medición de los microsismos en la primera área.

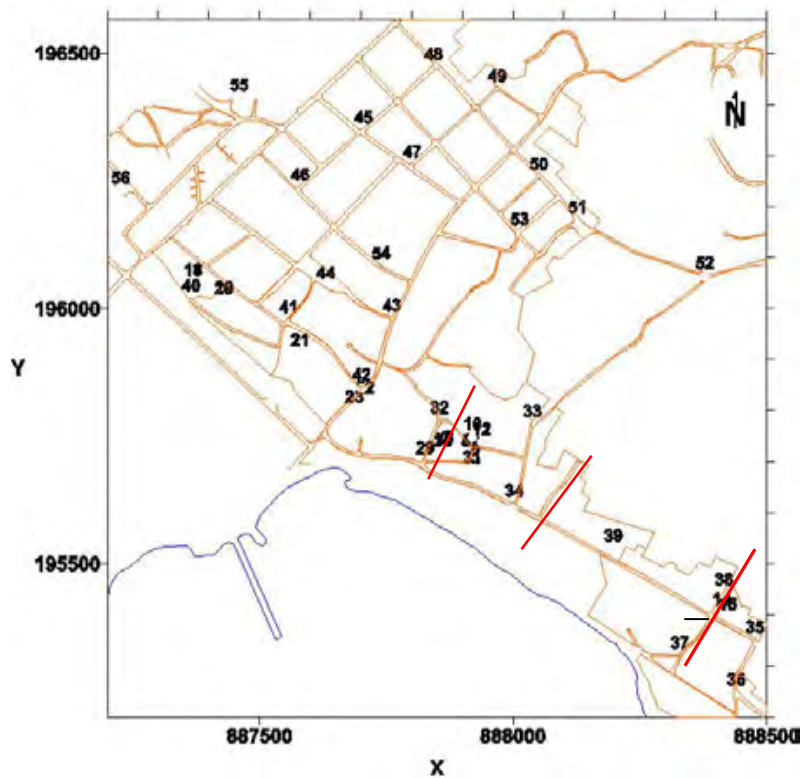


Fig.2 Ubicación de las líneas Sísmicas, de SEV y de los puntos de medición de los microsismos en la segunda zona.

Tiempo de retardo hasta 1 segundo.  
Transferencia de datos.



La configuración de medición de la sísmica de refracción fue por puestas de geófonos, con separación entre geófonos de 5m, con tiros a ambos lados producidos con el golpe de la mandarría y por cambios de las puestas, además se realizaron varios tiros alejándolos de la puesta de los tres geófonos para estudiar en profundidad las características de las velocidades sísmicas. Se realizaron también puestas con geófonos de registros horizontales, de forma tal de poder calcular las propiedades elásticas de los materiales del subsuelo, con la determinación de las velocidades longitudinales y transversales.

Para la utilización de la técnica del Georadar se utilizó el complejo **RAMAC**. El paso de medición fue de 0.50 cm., la separación entre las antenas de emisión y recepción de 1 m y frecuencia de la antena de 50 MHz, que permiten bajo condiciones geológicas normales hasta 20 m de estudio de profundidad.

Las mediciones eléctricas, SEV se utilizó una variante del AE-72, de fabricación rusa con variante digital, fuente de corriente por baterías de hasta 150V. Se midieron 14 puntos de SEV, con dispositivo o configuración de electrodos Wenner, para lograr mejores tomas a tierra y mediciones de potenciales en esas condiciones geológicas desfavorables debido a la intensa sequía existente. Se realizaron tres líneas de medición, con dirección aproximada NS ubicadas en Ana, Cano y Callejuela.

Para la realización de las mediciones instrumentales de los microsismos, fue usado un equipo de fabricación alemana **MARSLITE**, constituido por un sismómetro y un digitalizador, lo cual nos permite obtener los diferentes períodos de oscilaciones y amplitudes de suelos en las áreas de estudio.

## INVESTIGACIONES Y RESULTADOS.

### Planta de Tratamiento de Agua.

En la primera zona, el procesamiento de los datos sísmicos de refracción se dificultó por las condiciones geológicas existentes en el área. Para el cálculo de las velocidades longitudinales y transversales fue necesario filtrar las curvas de adquisiciones, prácticamente para todos los canales medidos. En la **Fig.3** se muestra una adquisición sísmica de un canal filtrado.

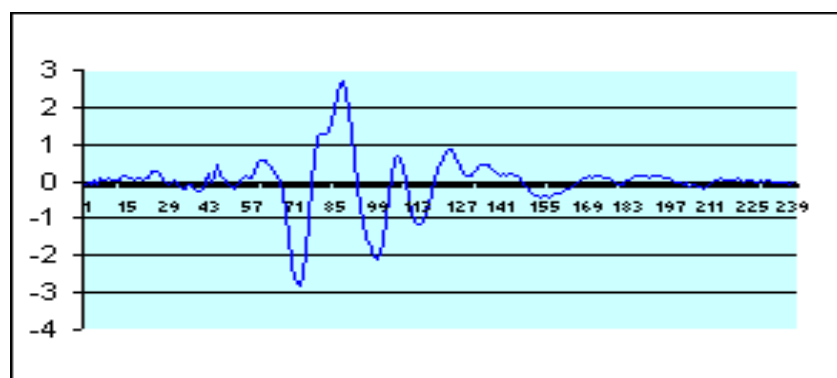


Fig. 3. Adquisición sísmica de un canal

Después de realizar los cálculos de las velocidades longitudinales y transversales para cada una de las adquisiciones sísmicas, se determinaron las propiedades físico-mecánicas, correlacionándolas con los datos de los estratos determinados por los resultados de la ENIA. Al



realizar un análisis estadístico se llegó a separar en tres grupos de velocidades, el primer grupo lo consideramos como el estrato de relleno, el segundo las arcillas con intercalaciones de gravas y el último, los eluvios de porfiritas de composición media-básica.

Estos resultados se recogen en las **Tablas I, II y III**. El color rojo representa las mediciones en la línea lateral a la Planta de Osmosis (I) y el azul se corresponde con la línea del Panel de Control (II). En ellos se ve la gran variabilidad de sus propiedades físico-mecánicas, fiel reflejo de las capas geológicas redepositadas en el área. Evidentemente el estrato 3 posee los mejores valores en su Módulo de Elasticidad de Young (E ). Debemos destacar que los resultados de las propiedades físico-mecánicas obtenidos por esta vía dinámica, generalmente son superiores en valores que los estáticos (laboratorio). La relación pueden estar entre 1.21 – 1.70. Las profundidades varían desde 0.50 hasta 5.0 m, aunque no siguen una continuidad, esto también se debe a lo superficial del nivel freático que enmascara las refracciones.

**Tabla I. Estrato 1 de material de relleno.**

Puntos de Medición	Vp (Km/seg)	Vs (Km/seg)	Poisson	G (Kg/cm2)	E (Kg/cm2)
4	0.263	0.1585	0.2148	436	1059
5	0.208	0.1291	0.1867	289	686
6	0.263	0.1368	0.3145	325	853
30	0.313	0.1876	0.2197	611	1489
30	0.357	0.1214	0.4346	256	734
34	0.192	0.1269	0.1124	279	621
34	0.455	0.1775	0.4102	547	1542

**Tabla II. Estrato 2 de arcillas con arena y gravas.**

4	0.455	0.2568	0.2663	1258	3187
6	0.556	0.1946	0.4302	723	2067
9-10	0.625	0.2563	0.3989	1253	3507
2	0.555	0.1942	0.4302	720	2059
3	0.500	0.1900	0.4156	689	1950
13-14	0.625	0.2815	0.3728	1512	4151

**Tabla III. Estrato 3 de eluvio de porfiritas**

7	0.833	0.5215	0.1777	5911	13923
10	2.500	1.6250	0.1342	57393	130191
12	1.000	0.5680	0.2619	7012	17697
17	2.500	1.5820	0.1661	54396	126858
17	0.833	0.5360	0.1467	6244	14321
19	0.714	0.2438	0.4340	1292	3705

Los resultados del Georadar se ven enmascarados por el nivel freático y la intrusión salina. Anteriormente señalamos que para conductividades altas, en este caso el área investigada tiene estas características de nivel freático superficial, intrusión salina, relleno y arcillas, las reflexiones electromagnéticas se ven afectadas y no se visualizan normalmente, obteniéndose además una menor profundidad de estudio.



La antena utilizada de 50 MHz permite teóricamente investigar hasta 20 m de profundidad. Sin embargo, sólo se pudo llegar hasta los 11 m aproximadamente, La **Fig. 4** muestra el radargrama

de la Línea I. Las primeras reflexiones, prácticamente horizontales, constituyen el efecto de la conductibilidad del aire, de la capa de asfalto y material superficial duro debido a la compactación natural. Por debajo de estas reflexiones se manifiesta, desde 1.0 hasta 1.6 m una zona bien saturada, posiblemente de agua con arcilla y relleno, que prácticamente carece de reflexiones. Esto, evidentemente, es perjudicial para cualquier tipo de construcción y posibles efectos de riesgo sísmico. Por debajo, las reflexiones son buenas, señalando pequeños espesores de capas con conductibilidad diferente hasta los 7 u 8 m de profundidad. Hay reflexiones que se acuñan que no sabemos su naturaleza geológica. Por debajo de estas últimas profundidades la influencia de la intrusión salina es evidente, pues se carece de suficientes y fuertes reflexiones.

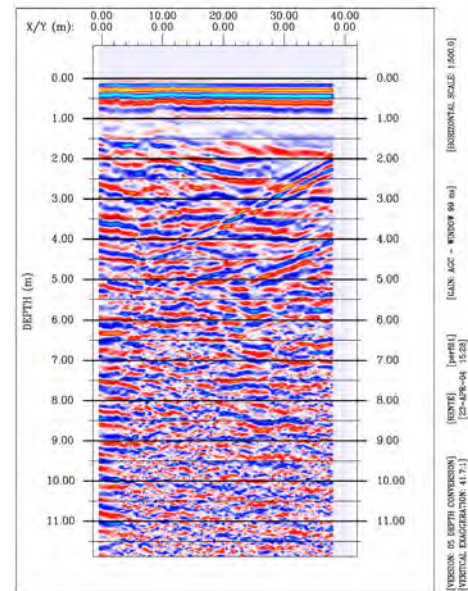


Fig. 4. Radargrama de la Línea I

### Valoración de los resultados de la Investigación Geofísica Terrestre.

Atendiendo a los resultados alcanzados con la utilización de la Sísmica de Refracción y el empleo de la técnica del Georadar, podemos señalar que los estratos presentes en el área de estudio tienen una gran variabilidad de sus propiedades físico -mecánicas, por los valores de velocidad longitudinal y transversal. Los correspondientes al relleno y materiales arcillosos son los más problemáticos desde el punto de vista del riesgo sísmico.

Para las dos áreas, por debajo de los 6 m la intrusión salina y las posibles oscilaciones de las mareas, constituyen otro factor de riesgo.

Es necesario para estos tipos de obras similares en las condiciones físico-geológicas, realizar las investigaciones geofísicas antes de las construcciones y montaje industrial. Por esta situación no fue posible medir en todos los lugares que técnicamente era necesario.

### Área de efectos de microsismicos provocados.

El estudio de sísmica en las afectaciones producidas por voladuras sobre viviendas de un entorno habitado y objetos de obra de fábrica fue la tarea propuesta a estas investigaciones.

Según López Jimeno, E. et al, (1987), las alteraciones principales que originan las voladuras son: vibraciones, onda aérea y proyecciones de rocas. Todas ellas pueden, en algunas circunstancias, originar daños en las estructuras próximas y, además ser causas de conflictos permanentes con los habitantes próximos a las explotaciones de canteras. Siendo esta la causal principal del trabajo que enfrentamos.

Para resolver la tarea, se realizó la revisión detallada de las edificaciones afectadas, el control de tres explosiones con 4 equipos en sitios diferentes, la medición de vibraciones ambientales





en los sitios con mayores afectaciones, y la ejecución de métodos geofísicos eléctricos y sísmicos que permitirían conocer las características del subsuelo en la zona de mayores afectaciones, esto último constituye parte de la presente contribución.

La **Fig.5** muestra el procesamiento de los datos aeromagnéticos para el sector que nos ocupa. Aquí las isolíneas del campo magnético total señalan las características geo-estructurales en profundidad, por debajo de las formaciones geológicas más jóvenes. Las direcciones de estas estructuras tectónicas son NW- SE y las más recientes prácticamente NS. Las variaciones en amplitud del campo magnético son pequeñas, mostrando a su vez lo poco magnéticas que son las rocas del sector, solo se refleja un mínimo de menos 50 nT al norte del emplazamiento del lugar donde se ubica el área de estudio. Al sur las isolíneas son tranquilas y con dirección EW.

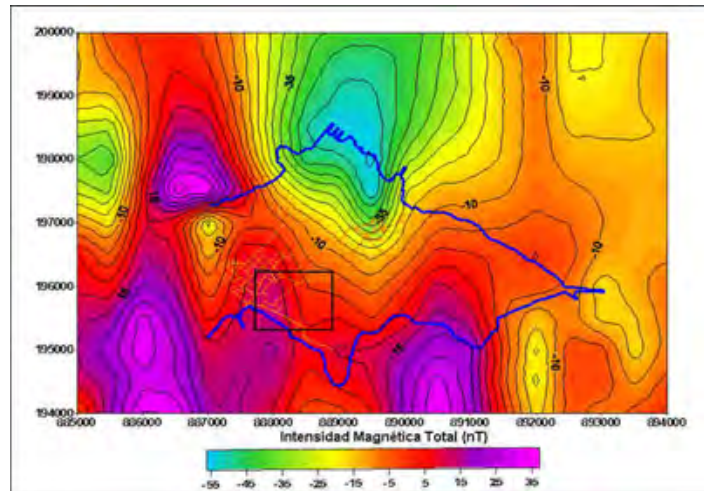


Fig. 5 Mapa de datos aeromagnéticos (nT)

En la **Fig. 6** se presenta una adquisición de la línea Ana, en los tres canales se realizó un filtrado para mejorar las señales útiles y disminuir los ruidos de frecuencias bajas, esto permitió lograr marcar con gran exactitud el comienzo de las llegadas de las ondas (pick first break) y calcular las velocidades con la precisión deseada.

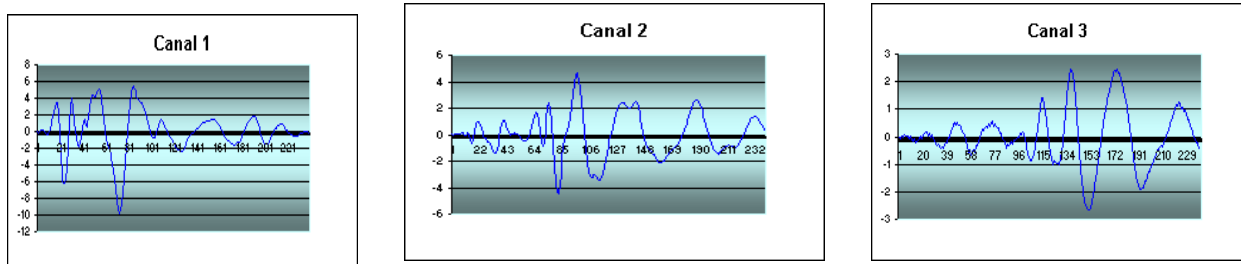


Fig. .6 Adquisición Sísmica. Línea Ana.

Los resultados de estas mediciones se presentan en le **Tabla IV**. En dicha tabla se presentan los resultados de las mediciones sísmicas de refracción, las velocidades longitudinales y transversales y las propiedades físico-mecánicas. El coeficiente de Poissons es relativamente bajo en magnitud, mostrando su correlación con los sedimentos calcáreos presente en el corte. El punto de medición 9 presenta velocidades mayores, lo que hace que el modulo de Youngs o de elasticidad sea elevado. Generalmente los datos obtenidos por estos métodos dinámicos son mayores en magnitud que los obtenidos en laboratorio o estáticos, mostrando una disminución de las propiedades desde la capa superior, calizas hasta rocas margosas-arcillosas en el piso





inferior. Los datos obtenidos de las mediciones en profundidad en la línea Ana, presentan valores del módulo de elasticidad (Youngs) bajos.

En la Fig. 7 se muestran los resultados de la línea o perfil sísmico, el corte superior se caracteriza por los valores altos de las velocidades longitudinales, mapeando prácticamente la pequeña capa de poca potencia de calizas mas dura y por debajo disminuyendo las velocidades en correlación con las margas y margas calcáreas.

Tabla.IV Propiedades Físico-mecánicas

Ptos.Medición	Vp (Km/seg)	Vs(Km/seg)	Poissons	G(Kg/cm2)	E(Kg/cm2)
7	0.278	0.158	0.2594	538	1355
7	0.417	0.275	0.1152	1543	3442
6	0.625	0.350	0.2716	2688	6835
6	0.208	0.118	0.2627	277	700
9	0.830	0.510	0.1967	5972	14293
9	1.000	0.670	0.0927	10306	22524
14	1.250	0.734	0.2369	14019	34678
14	0.715	0.350	0.3424	3125	8390
15	0.192	0.095	0.3379	193	517
15	0.230	0.132	0.2544	373	937
16	0.230	0.125	0.2904	319	823
16	0.192	0.096	0.3333	188	502
17	0.208	0.124	0.2243	329	807
17	0.238	0.136	0.2576	396	997

La interpretación de los datos geoelectricos muestra un gran contraste de la resistividad del corte. Los mayores valores se correlacionan con las calizas duras, disminuyendo la resistividad desde arriba hacia abajo. En esta propia figura se muestra esta característica, un primer horizonte de alta resistividad, generalmente de poca potencia que sirve para mapear estas calizas, por debajo se encuentran las calizas margosas de menor resistividad, menos de 10 ohm-m con potencia variable y siguiendo el corte se mapean las margas, con menor resistividad, aquí es posible la presencia de intrusión salina . A continuación se repite esta alternancia. Por estos datos de resistividad no ha sido posible mapear la presencia de dislocaciones tectónicas, hay contraste de resistividad pero no muy marcadas, aunque hay rasgos geomorfológicos que si la señalan.

Lo más interesante de estos cortes es la primera capa de caliza dura de poca potencia, sobre ella están prácticamente las edificaciones de mayor afectación producto de las explosiones de la cantera, en las secciones de resistividad se señalan con los colores amarillo y rojo. Las casas de mayores afectaciones constructivas, se encuentran ubicadas al final de estas capas de poca potencia de calizas.



### Diseño de las mediciones sismológicas instrumentales de voladuras y microsismos.

Los equipos sismológicos en los trabajos de control de voladuras posibilitan la adquisición fiel de las características de las vibraciones provocadas en los diferentes sitios de interés. Se siguió como criterio de ubicación de los equipos, la ubicación en los lugares de mayor afectación, incluyéndose además, un punto de control a unos 400 metros cerca del frente de cantera. Se realizaron tres voladuras con registro de 4 equipos, sismógrafos. No se tienen en cuenta en el presente trabajo las informaciones técnicas, como cantidad de explosivos, retardos utilizados, distancia, etc. por problema de espacio.

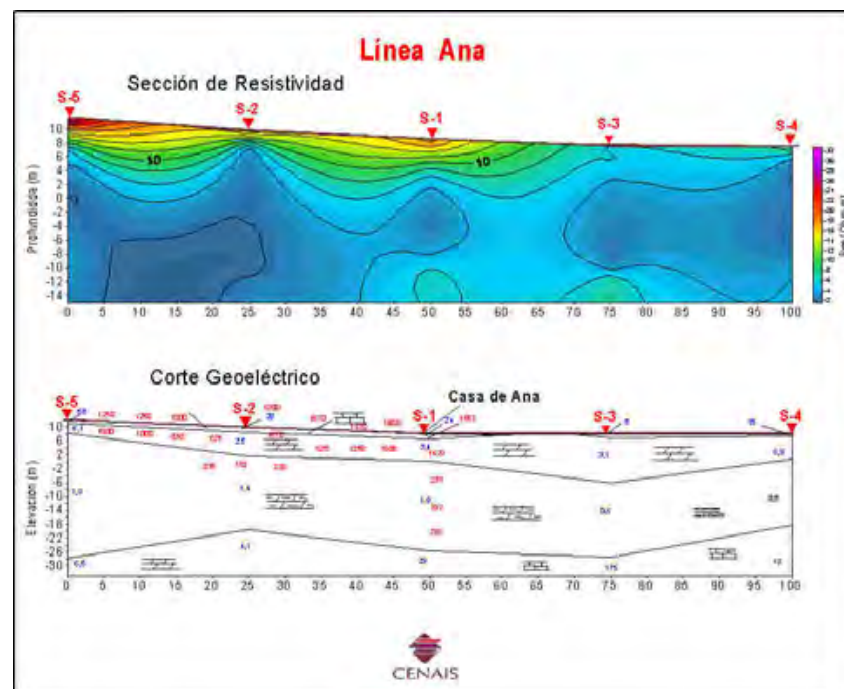


Fig. 7 Corte geoelectrico y sísmicos. Línea Ana.

A los registros obtenidos se les determinó las amplitudes máximas para las tres componentes o canales sismométricos, los espectros de respuesta para un amortiguamiento del 5 % de donde se obtuvo el período de oscilaciones fundamentales y con los tres espectros de cada registro se calculó el factor de amplificación para el sitio medido producto de la excitación producida por la voladura.

### Registro de microsismos

Los métodos de análisis de la respuesta dinámica de suelos desde el punto de vista experimental posibilitan conocer la relación existente entre la respuesta del suelo y las características en frecuencias de los terremotos para la toma de decisiones de proyecto, en busca de garantizar las condiciones sismorresistente de las instalaciones. En este caso se utilizó el método de los microsismos.

Se consideró que las zonas donde era necesario realizar las mediciones instrumentales, eran aquellas donde existían las mayores afectaciones comprobadas en las inspecciones



constructivas realizadas, así como se incluyeron un grupo adicional que permitiera tener una idea general de la respuesta dinámica de los suelos. En cada uno de los sitios se realizaron dos mediciones de 2 minutos, cada una espaciadas cinco minutos, lo cual permitió evaluar la estabilidad de la información obtenida. Ver Fig. 2

A las mediciones de microsismos se realizará un proceso de análisis de las señales similar al planteado para las voladuras, lo cual posibilitará posteriormente caracterizar la interacción de ambas en la evaluación de los efectos posibles.

Para el análisis se sigue el criterio generalmente utilizado de rangos representativos de períodos de acuerdo al tipo de suelo (Medvedev, 1973 y Zapata, 1995) en el cual para S1 los suelos oscilan entre 0.1 y 0.3 segundos, para S2 entre 0.3 y 0.5, para S3 entre 0.5 y 0.8 y para S4 son mayores de 0.8 segundos, estos criterios permiten conocer las relaciones del comportamiento de los sitios medidos.

**Tabla V.** Parámetros espectrales de las voladuras. Incluye los períodos fundamentales para las componentes horizontales (T\_EW y T\_NS) y la vertical (T\_V), así como el período (en segundos) y amplitud el Factor de Amplificación (adimensional).

Equipos	T_EW	T_NS	T_V	T_Fa	Amp_Fa
Acelerógrafo	1.68	0.14	0.14	1.74	2.750
Acelerógrafo	0.10	0.14	0.16	0.001	19.410
Acelerógrafo	0.26	0.14	0.10	0.30	8.626
Triaxial	0.33	0.25	0.49	0.33	3.922
Triaxial	0.20	0.25	0.16	0.37	4.650
Triaxial	0.25	0.25	0.20	0.08	1.670
3 sismómetros	0.20	0.22	0.26	0.36	1.684
3 sismómetros	0.18	0.22	0.14	0.24	1.769
3 sismómetros	1.54	1.53	1.48	0.51	2.336
MARSLITE	1.62	0.83	0.71	1.59	2.235
MARSLITE	0.25	0.29	0.25	0.57	1.346
MARSLITE	0.25	0.29	0.53	0.29	2.493

**Tabla VI.** Parámetros espectrales de suelos. Valores de períodos (en segundos) y amplitudes (micrones/segundo) de las componentes horizontales (EW y NS) y vertical, picos máximos del Factor de Amplificación (Fa1 y Fa2) que son adimensionales.

Pto	EW		NS		V		Fa1		Fa2	
	T	Amp	T	Amp	T	Amp	T	Amp	T	Amp
1	0.26	385.00	0.27	494.00	0.30	225.00	0.27	2.27	0.35	2.00
2	0.30	0.47	0.29	0.05	0.26	0.26	0.34	1.80	0.17	1.38
3	0.33	0.62	0.33	0.31	0.45	2.62	0.34	0.34	0.66	0.15
4	0.32	0.64	0.31	0.43	0.40	1.44	0.27	0.50	0.49	0.43
5	0.40	13.96	0.29	0.57	0.29	0.57	0.20	0.06	0.33	0.04



<b>6</b>	0.35	0.99	0.36	0.52	0.37	1.14	1.71	0.72	0.36	0.67
<b>7</b>	0.41	0.87	0.34	0.78	0.32	0.26	0.67	4.58	0.44	3.67
<b>8</b>	0.35	0.50	0.28	0.52	0.26	0.36	0.70	3.40	0.53	1.50
<b>9</b>	0.22	0.58	0.65	0.78	0.46	0.25	0.16	2.94	0.63	2.61
<b>10</b>	0.28	0.39	0.27	0.30	0.27	0.24	0.29	1.80	0.25	1.72

Aquí coincidencia en la respuesta de los suelos, para tipos de suelos S3 y S4 con las máximas afectaciones de las construcciones, siendo la conclusión principal la existencia de un efecto de resonancia entre los períodos de suelo y las explosiones al coincidir los mismos, lo cual agravado por las condiciones de suelo donde el acuífamiento de las calizas (ondas elásticas) sobre las margas (ondas plásticas) trae consigo un fenómeno de reforzamiento de estas últimas en el sitio con un aumento de los efectos, que es coincidente con la línea de la estructura tectónica regional. Lo anterior es agravado también, porque las viviendas no están construidas con parámetros sismorresistentes, al no exigirse en la zona por los organismos competentes estos requerimientos. Todo lo anterior ha hecho vulnerables las viviendas evaluadas y pone en peligro con el tiempo el resto de las construcciones.

## CONCLUSIONES

- Las voladuras constituyen un catalizador de los fenómenos que aparecen en las construcciones, consideramos que los efectos sucesivos hacen que cada vez sean mayores las afectaciones.
- Las condiciones ingeniero-geológicas del lugar son un factor importante en los efectos que presentan las construcciones predominando margas carbonatadas de color crema claro muy deleznable y calizas margosas duras agrietadas, cubiertas en ocasiones por un casquete de caliza organógena compacta, algo marmolizada. Siendo muy desfavorables sísmicamente porque amplifican la señal sísmica.
- Las construcciones que presentan daños, se orientan según una línea de dirección NW-SE, coincidiendo con la dirección de la falla que limita el primer nivel de terraza, la que consideramos sea la principal, las fallas constituyen los canales de transmisión de las ondas producto de las excitaciones (voladuras) que se generan en el frente de cantera hasta la falla principal.
- Posible existencia de un efecto de resonancia entre los períodos de suelo y las explosiones al coincidir los mismos, lo cual agravado por las condiciones de suelo en el acuífamiento de las calizas (ondas elásticas) sobre las margas (ondas plásticas) trae consigo un fenómeno de reforzamiento de estas últimas en el sitio, que es coincidente con la línea de la estructura tectónica regional.
- Las curvas de los espectros de respuesta y factores de amplificación permitirán a los proyectistas su empleo en los nuevos proyectos de remodelación y decisión de nuevas construcciones, conocer la respuesta de los suelos y factores de amplificación con vistas a disminuir o eliminar efectos catalizados por explosiones.
- En la línea o perfiles sísmicos, el corte superior se caracteriza por los valores altos de las velocidades longitudinales, mapeando prácticamente la pequeña capa de poca



potencia de calizas más dura y disminuyendo las velocidades en correlación con las margas y margas calcáreas por debajo.

- La interpretación cuantitativa de los datos geoelectricos muestra un gran contraste de la resistividad del corte. Los mayores valores se correlacionan con las calizas duras, disminuyendo la resistividad desde arriba hacia abajo.

## BIBLIOGRAFIA

- Chuy, T. J. (1999): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. 273 pp.
- Colectivo de autores. (1997): Estudios sobre Geología De Cuba. Centro Nacional sobre Información Geológica.CNIFG. IGP. Ciudad de La Habana, 527pp.
- Alfaro, A.; Egozcue, J.J. y Ugalde, A. (1999): Determinación de las características dinámicas del suelo a partir de microtemblores. Memorias 1er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 12 – 16 abril 1999, Murcia España. pp. 461 - 468
- Alfaro, A.; Navarro, M.; Sánchez, J. y Pujades, L.G. (1999): Microzonificación sísmica de Barcelona utilizando el método de Nakamura. Ventajas y limitaciones. Memorias 1er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 12 – 16 abril 1999, Murcia España. pp. 273 - 278
- Gómez H. y Murguía, R. (2002): Guía práctica en el lugar para sismógrafos usados en voladuras. <http://www.isee.org/sections/SeisFldPractGuideSpan02.doc.pdf> De "ISEE Field Practice Guidelines for Blasting Seismographs".
- Guardado, R. (1982): Ingeniería Geológica. Ingeniería Petrológica". Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 301pp.
- Grupo de Cartografía Digital y Sistemas de Información Geológica (CASIG), (2000). Mapa Geológico Digital de la Republica de Cuba. Escala 1:100000. Instituto de Geología y Paleontología.
- Ingeniería Geológica (1982). Ingeniería Petrológica. Ministerio de la Educación Superior. ISMMMoA.
- Padilla, I y García, D. (2002): Interpretación aerogeofísica en el sector centro de Cuba como apoyo a la cartográfica geológica a escala 1:100 000. IGP - MINBAS
- IGP (2000): Mapa Geológico Digital de la República de Cuba a escala 1:100000. Instituto de Geología y Paleontología. MINBAS
- López Jimeno, E., López Jimeno, C., Pla Ortiz de Urbina, F. y Pernia Llera, J.M. (1987): Manual de Perforación y Voladuras de Rocas. Instituto Geológico y Minero de España. MINFAR
- López Jimeno, E. y López Jimeno, C. (1996): Elección del criterio de daños. Control de vibraciones generadas por voladuras. GEOAMBIENTE
- López Jimeno, C y P. García Bermúdez (2004): Avances tecnológicos en el campo de la perforación y voladura de rocas. <http://alfa.ist.utl.pt/~cgeo/explosivos/avances.pdf>
- Méndez R. F (1996): Empleo de las características dinámicas de las ondas en la sísmica ingeniera para el estudio de macizos rocosos. CENHICA, ISBN 959-7093-01-4. 330 pp.
- Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on ground surface. Quartely Report of Railway Tech. Res. Inst., Vol. 30, pp 25-33.



## MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SAN JOSÉ, COSTA RICA

**Víctor Schmidt (1), Aarón Moya (1), Álvaro Climent (2), Ileana Boschini (2), Wilfredo Rojas (3)**

(1) Laboratorio de Ingeniería Sísmica, Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica. E-mail: vschmidt@eic.ucr.ac.cr

(2) Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

(3) Sección de Sismología, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

### Resumen

Esta investigación se llevó a cabo para conocer la amenaza sísmica y el comportamiento dinámico de los suelos en el Área Metropolitana de San José. Se obtuvieron los valores de aceleración para períodos de retorno de 50, 100 y 500 años. Se obtuvo además un mapa de espesores de suelo no consolidado a partir de lecturas de pozos de agua subterránea.

Para la estimación de los efectos de sitio, se emplearon dos métodos: los empíricos y los analíticos. Respecto a los empíricos, se aplicaron las técnicas: razón espectral de sedimento contra roca (RESR), razón espectral de la componente horizontal sobre la vertical (REHV) y la razón espectral usando ruido ambiente (RERA), que fue además la técnica utilizada para hacer el mapa de isoperiodos. Las técnicas analíticas utilizadas están representadas por los programas Shake y Ample.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en general las técnicas coinciden en que los períodos en la zona de estudio varían en un rango de 0,1 a 0,5 s, con tendencia a ser mayores (suelos menos consolidados) en el noreste y menores al sur y al oeste. Se observan dos zonas que presentan un período cercano a 1,0 s: Curridabat y Sabana. Esta situación es evidente al observar el mapa de espesores de suelo y el mapa de isoperiodos, así como al aplicar técnicas analíticas y empíricas en sitios puntuales.

### Abstract

This investigation was carried out to determine the seismic hazard and the dynamical behavior of the ground of San José's Metropolitan Area. The acceleration values were obtained for return periods of 50, 100 and 500 years. Also, a map for non-consolidated soils was obtained from the measurements performed in underground water wells.

Both analytical and empirical methods were used for the estimation of site effects. The empirical techniques used in the investigation were: sediment vs. rock spectral ratio (RESR), horizontal vs. vertical spectral ratio (REHV), and the spectral ratio using cultural noise which was the most used technique. The analytical methods used were the computer programs Shake and Ample.

The results obtained from the use of this techniques show that the natural periods in the zone of study were between 0,1 and 0,5 s, with a tendency to be higher in non-consolidated grounds of the northeast, and lower in the south and west. There are two areas where periods of 1,0 s were observed: Curridabat and Sabana. This condition is evident if the ground thickness and iso-period maps are observed, and when analytical and empirical techniques were used in the different sites.

## SISMICIDAD DE COSTA RICA





Se tiene evidencia de actividad sísmica somera en el Valle Central desde tiempos históricos. Esta actividad ha sido registrada por instrumentos de medición portátiles y más recientemente por la Red Sismológica Nacional y por el OVSICORI. El fallamiento de Costa Rica ha sido estudiado por la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica (UCR) desde la década de los setenta.

Costa Rica se ubica sobre la placa Caribe la cual limita con la placa de Coco a lo largo de la fosa Mesoamericana. Frente al pacífico sur se localiza la Zona de Fractura de Panamá y la dorsal asísmica de Coco. Del lado del mar Caribe frente a las costas de Costa Rica y Panamá se localiza el Cinturón Deformado del Norte de Panamá. Las cordilleras de Talamanca y Volcánica Central son dos rasgos que expresan la gran actividad tectónica de este país (ver Fig-1.).

La distribución de fallas en el Valle Central presenta en su mayoría una orientación NW-SE y NE-SW. En la cordillera Volcánica Central hay dos sistemas de fallas importantes: el primero se extiende en forma paralela a la cordillera desde el volcán Irazú hasta el Poás, el segundo es un sistema de fallas normales que bordea el volcán Irazú y no presenta fallas más extensas de 15 km. Otras fallas importantes son las Alajuela y Guápiles que son del tipo inverso. La cordillera de Talamanca tiene un gran número de fallas. Las principales fallas activas del Valle Central son: Alajuela, Lara, Aguacaliente, Escazú-Aserri y Virilla.

De 1772 a 1999 se han documentado 16 sismos fuertes de foco superficial en el Valle Central ubicados en el flanco norte de la cordillera Volcánica Central y en las estribaciones de la cordillera de Talamanca. A pesar de que han pasado 40 años desde el último sismo destructivo proveniente de fuentes del Valle Central, hay tres focos sísmicos con actividad permanente en la cordillera Volcánica Central: volcán Irazú, Bajo de la Hondura (falla Lara) y la zona del volcán Poás.

La sismicidad dentro del Valle Central es dispersa. Se han identificado claramente fallas como la de Higuito y la de Aguacaliente. En las estribaciones del oeste de la cordillera de Talamanca se ha registrado instrumentalmente el mayor nivel de actividad reciente en el centro de Costa Rica.

## **AMENAZA SÍSMICA DE COSTA RICA**

Para determinar la amenaza sísmica sobre el Valle Central en este estudio se utilizó una metodología probabilística que considera como elemento básico la estadística de la frecuencia de ocurrencia de los eventos sísmicos, su relación con la tectónica, las fuentes sísmicas y la característica de atenuación de las ondas sísmicas en una región determinada. Con el uso de computadoras se integró la información sismológica, tectónica, y de atenuación de las señales sísmicas para obtener los mapas de amenaza sísmica del Área Metropolitana. Dicho análisis considera zonas sísmicas y fallas activas, cada una caracterizada por parámetros de recurrencia sísmica, geometría, magnitud máxima y mínima y la profundidad. Como elemento novedoso en el análisis se incluyó a las principales fallas activas del Valle Central como tales y no como delgadas áreas fuente.



Se ha estimado que las fallas activas incluidas en el modelo, contribuyen con cerca de la mitad de la energía sísmica somera para la región estudiada. La otra mitad puede provenir de fallas activas aún no descubiertas. Como ejemplo de los resultados sobre amenaza sísmica se pueden citar resultados como valores de PGA para San José desde 3,2 a 3,75 m/s<sup>2</sup> para un período de retorno de 100 años (ver Fig.-2.). Los valores tienden a ser altos reflejando la importante actividad sísmica debido a la presencia de muchas fallas activas en la región de interés.

## **GEOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS**

El relieve de la zona metropolitana en general presenta dos grandes dominios: uno donde están los grandes núcleos poblacionales, que se orienta hacia el NNW, centro y NE y posee una topografía relativamente regular; el otro es hacia el sur y SW y corresponde al sector montañoso.

La zona central de San José yace sobre lahares. En la región afloran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas de bajo grado. Uno de los principales problemas de los suelos del Área Metropolitana son las arcillas expansivas que se presentan hacia el suroeste. Existen limos blandos colapsables sobre la Formación Lahares y Cenizas. Estos suelos poseen una estructura floja cementada o rigidizada de alguna manera que por inundación, humectación o carga se reblandece, se pierde y la estructura colapsa. Estos suelos se encuentran en zonas altas y planas del valle formando mesetas.

En general se puede establecer que para la zona metropolitana los suelos más duros son los residuales de poco espesor, especialmente en pendientes altas. Los intermedios son suelos desarrollados sobre abanicos aluviales, lahares y residuos de poco espesor. Los depósitos piroclásticos son los suelos de menor consistencia. En el estudio se consideraron como materiales no consolidados aquellos del tipo volcanoclásticos finos (arenas, arcillas y limos) siempre y cuando estuvieran en niveles superficiales. El mayor espesor de este material en el área se localiza al noreste de Santo Domingo de Heredia. Para efectos del estudio se realizaron mediciones geofísicas como la de velocidad de las ondas cortantes (método SASW) mediante el uso de ondas superficiales tipo Rayleigh. También se realizaron ensayos de refracción sísmica con el fin de obtener la velocidad de onda compresional, y en algunos casos detectar la onda cortante.

Se obtuvieron variaciones en la velocidad de la onda compresional entre 0,2 y 0,8 km/s en capas superficiales. En los contactos con lahares se encontraron valores entre 1,3 y 2,1 km/s en capas más profundas. Los valores de resistividad varían entre 20 y 100 ohms-m en suelos y 20 a 40 ohms en lahar.

## **EFFECTOS DE SITIO MEDIANTE EL EMPLEO DE TÉCNICAS EMPÍRICAS**

Todo evento sísmico se puede caracterizar en función de tres factores: la fuente sísmica (falla activa), el medio de propagación y los efectos locales o de sitio. Estos últimos son los responsables de todas las modificaciones en la amplitud, duración y variación del contenido frecuencial que sufre la señal mientras viaja a la superficie a través del suelo (principalmente no consolidado).



Por lo general los suelos blandos amplificarán la señal proveniente de la fuente en un rango de períodos principalmente largos y filtrarán períodos cortos. Este fenómeno ha afectado históricamente los asentamientos humanos, como ha sido el caso de Caracas (1969) y Ciudad de México (1985).

La determinación de los efectos de sitio de acuerdo con técnicas empíricas se llevó a cabo utilizando: la Razón Espectral de Sedimento contra Roca (RESR) y la Razón Espectral de la Componente Horizontal sobre la Vertical (REHV) usando una sola estación. Ambas técnicas se aplican para sismos. Como complemento se analizaron también los efectos de sitio mediante el uso de la Razón Espectral del Ruido Ambiente (RERA). Para todo lo relativo al empleo de las técnicas empíricas, se utilizó una red de acelerógrafos denominada *San José Accelerograph Network* (SAN), que consistió de ocho acelerógrafos del tipo K2 de Kinematics que operaron durante nueve meses (de marzo a noviembre de 1998). Durante ese tiempo registraron más de 60 sismos de moderada magnitud. La memoria de registro de pre-evento y la de post-evento fueron fijadas en 30 segundos. La información de la localización epicentral, magnitud y profundidad fue suministrada por la Red Sismológica Nacional (RSN) y por el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI).

La técnica RESR fue introducida por Borchardt (1970). Se basa en la hipótesis de que un sitio ubicado en roca no experimenta amplificación durante un sismo. De esta, forma la amplificación relativa de un sitio en sedimento queda expresada como el cociente del espectro de amplitud de Fourier en el suelo con respecto al del espectro de la señal sobre roca. En el dominio de las frecuencias, el espectro observado de un terremoto puede ser representado como la multiplicación de la fuente, el medio y el efecto de sitio. Para este caso, la técnica se aplicó utilizando solamente los registros obtenidos por los acelerógrafos K2.

La estación de referencia seleccionada fue NFL, la cual corresponde a un sitio donde afloran lavas que no presentan efectos de meteorización. Asimismo, NFL es el lugar que presenta el nivel de ruido de fondo más bajo de todos los sitios.

La REHV es una técnica que está basada en la suposición de que los espectros de amplitudes de Fourier de las componentes horizontales de un registro sísmico pueden ser divididos entre la del espectro de la componente vertical, que experimenta poca o no amplificación. Esta técnica tiene de especial que no requiere que el mismo evento haya sido registrado en forma simultánea por todas o varias de las estaciones y por supuesto, no requiere de una estación de referencia, de aquí lo atractivo del método. La Fig.-3 muestra las razones espectrales obtenidas.

Últimamente se ha hecho más frecuente el uso de ruido ambiente como manera alternativa de estimar el período fundamental de un sitio determinado (técnica RERA). Este ruido es debido a la superposición de distintas fuentes: tránsito vehicular y peatonal, viento, oleaje del mar, ruido eléctrico, etc., y se puede obtener de los pre-eventos de los registros sísmicos o bien, al realizar mediciones específicas usando niveles de disparo en los instrumentos lo suficientemente bajos. En este análisis se incluyeron estaciones con acelerógrafos tipo SSA del OVSICORI en Heredia, Guachipelín (GUA) y la Sabana. Se identificaron períodos predominantes de entre 0,2 y 0,4 segundos, los cuales resultaron ser menores que los calculados con el uso de sismos.



Considerando la similitud de períodos fundamentales utilizando registros sísmicos y ruido, el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (IINI-UCR) realizó mediciones de ruido a distancias de un kilómetro en toda el área de estudio con el fin de realizar un mapa de zonificación con base en isoperíodos. Se tomaron 3 ó 4 mediciones de 1 minuto cada una con intervalos de 2 a 3 minutos entre ellas, en los análisis se utilizaron los primeros y los últimos 15 segundos de cada señal. De esta forma se contó con 6 registros por componente y se tomó el promedio vectorial de las componentes horizontales, este vector fue dividido por la componente vertical para obtener un cociente espectral y determinar así el período fundamental o pico de mayor amplitud leído de la razón espectral. De los resultados obtenidos se observó que la amplificación espectral varía entre 2 y 3 y la frecuencia fundamental entre 5 y 1 Hz (período entre 0,2 y 1s).

## EFFECTOS DE SITIO MEDIANTE EL EMPLEO DE TÉCNICAS ANALÍTICAS

Se realizaron pruebas geofísicas en diferentes puntos del Área Metropolitana y sus alrededores para caracterizar los perfiles de suelo según su estratigrafía, velocidad de onda cortante en cada capa, módulo de rigidez y amortiguamiento. La obtención de la velocidad de onda cortante se hizo mediante dos métodos: a) midiendo el valor a partir de pruebas SASW (*Spectral Analysis of Surface Waves*) y, b) estimando su valor por medio de pruebas de refracción sísmica y resistividad eléctrica. Estos datos se utilizaron para alimentar y mejorar el modelo numérico que provee el programa SHAKE. Se obtuvieron acelerogramas modelados en la superficie, sus respectivos espectros de respuesta, razones de amplificación y funciones de transferencia; resultados necesarios para conocer en detalle el comportamiento del suelo y estimar los espectros para el diseño de estructuras sismorresistentes. Se obtuvo un rango de valores de amplificación de 3 a 5 y una amplificación promedio de 2,0 a 2,5 en los 11 sitios analizados. Respecto a los modos naturales de vibración se obtuvo un rango de: 0,25 s (suelos firmes) a 0,45 s (suelos menos firmes) utilizando registros con aceleraciones menores a 0,15g. Este rango se incrementó a valores de entre 0,3 y 0,55s cuando se utilizaron registros con aceleraciones mayores a 0,15g.

Hay dos sitios que presentaron condiciones singulares: Sabana y Curridabat, donde las velocidades de onda cortante son menores a 100 m/s. Esto produjo un incremento considerable en el período fundamental de estos sitios con respecto del resto de puntos analizados, llegando a tomar valores de 1,0 s. Las figs. 4 y 5 muestran algunas funciones de transferencia estimadas a partir de este método para sismos fuertes de entrada.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

La tabla 1 muestra un resumen de los resultados respecto a la estimación de los efectos de sitio por medio de técnicas empíricas y analíticas. En general se observa una concordancia entre los mismos, aún en sitios con condiciones singulares como La Sabana.

Tomando en cuenta los valores de períodos encontrados, se puede afirmar que los tipos de suelos evaluados tienen un comportamiento de tipo firme (valores de período predominante inferiores que 0,5), en comparación con otras regiones del mundo, donde estos períodos pueden superar los 4,0 s.



El rango de períodos en el cual se presentan los períodos predominantes del Área Metropolitana de San José va entre 0,2 y 0,6s. La tendencia es que los períodos sean mayores en sitios aislados del centro (La Sabana y Curridabat) y hacia el noreste, así como menores hacia el oeste y sur.

En la Fig.-6 se muestra el mapa de espesores de suelo no consolidado, obtenido a partir de lecturas de pozos de agua subterránea con la respectiva identificación del nivel de suelo firme o roca. En la misma figura se presenta el mapa de isoperíodos estimados con técnicas de medición de ruido.

Se observa una gran concordancia entre las zonas donde los espesores de suelo y los períodos predominantes son mayores. Sucede algo semejante a la inversa: zonas de poco espesor de suelo coinciden con períodos cortos, lo que parece validar los resultados contenidos en ambos mapas y obtenidos a partir de datos de distintos orígenes. Esta concordancia también se observa en puntos singulares como La Sabana y Curridabat.

Con base en el mapa de espesores de suelo no consolidado, el de isoperíodos, el estudio de amenaza sísmica y el mapa geológico, se propone la zonificación sísmica que muestra la Fig.-7. Se agruparon zonas de comportamiento dinámico similar. Se definieron tres zonas: La 1 que corresponde con un suelo poco firme, con valores de período predominante entre 0,35 y 0,48s, la zona 2 en la que los períodos predominantes varían entre 0,25 y 0,4s y finalmente la 3, donde los suelos son los más firmes, con períodos entre 0,08 y 0,25s. En esta última zona los suelos son los que muestran menor amplificación.

La fig.-8 presenta los espectros propuestos y se comparan con los de respuesta obtenidos a partir de registros sísmicos en las estaciones HTO y ECA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, G., Morales, L. D., Montero, W., Rojas, W., Climent, A., (1998): "Aspectos sismotectónicos y morfotectónicos en el extremo occidental de la cordillera Volcánica Central de Costa Rica". Rev. Geol. Am. Central, (9):75-98.
- Atakan, K., (1995): "A review of the type of data and techniques used in the empirical estimation of local site response". *Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation*. Oct. 17-19, Nice, France, 1451-1460.
- Climent, A., Bolaños, M., (1999): "Mapa de espesores de materiales no consolidados en el Área Metropolitana de San José". Inf. Interno ICE, 12 pp.
- Climent, A., Leandro, G., Avila, M., Esquivel, G., (1999): "Mediciones geofísicas en el Area Metropolitana de San José". Inf. Interno ICE, 12 pp.
- EduPro Civil Systems, Inc., (1998): "PROSHAKE Ground motion analysis program". Users's manual. Version 1.0, Redmond, Washington, 52 pp.
- Guzmán, J., (1999): "Comportamiento dinámico en suelos del Area Metropolitana de San José utilizando técnicas empíricas". Informe final de Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José.



- Laporte, M., Lindholm, C., Bungum, H., Dahle, A., (1994): "Seismic hazard for Costa Rica". Technical Report No. 2-14. NORSAR, PO Box 51 N-2007 Norway, 73 pp.
- Lermo, J., Chávez-García, F. J., (1993): "Site effect evaluation using spectral ratios with only one station" *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 83, 1574–1594.
- Lermo, J., Chávez-García, F. J., (1994): "Are microtremors useful in site response evaluation?". *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 84, 1350 - 1364.
- Montero, W., Fernández, M., (en prensa): "Fallamiento activo y sismicidad al sur de San José". Informe para la Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica 1998.
- Montero, W., Morales, L. D., (1984): "Sismotectónica y niveles de actividad de microtemblores en el suroeste del Valle Central, Costa Rica". *Rev. Geof. Inst. Panam. Geogr. Hist.*, (21):21-41.
- Montero, W., Morales, L. D., (1988): "Zonificación sísmica del Valle Central". *Memorias 4º Seminario de Ingeniería Estructural*, San José, Costa Rica.
- Moya, A., Schmidt, V., Segura, C., Boschini, I., Atakan, K., (1998): "Empirical evaluation of site effects in the Metropolitan Area of San José, Costa Rica". *Technical Report No. II 1-09*. University of Bergen.
- Nadim, F., (1991): "AMPLE, A computer program for analysis of amplification of earthquakes". Internal Report No. 51508-20, rev.2 Norwegian Geotechnical Institute, 23 pp.
- Nakamura, Y., (1989): "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface". *QR Railway Tech. Res. Inst.*, 30, 25 - 33.
- NORSAR, (1998): *NPRISK users guide*, version 2.1, March, 1999. NORSAR PO Box 51, N-2007 Norway, 35 pp.
- Rojas, W., (1993): "Catálogo de sismicidad histórica y reciente en América Central: desarrollo y análisis". Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, 91 pp.
- Salas, R., (1999): "Análisis de la amplificación dinámica de suelos del Area Metropolitana de San José mediante perfiles de suelo". Informe final de Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, 114 pp.
- Schmidt, V., Dahle, A., Bungum, H., (1997): "Costa Rican Spectral Strong Motion Attenuation". NORSAR, Technical Report, 45 pp.



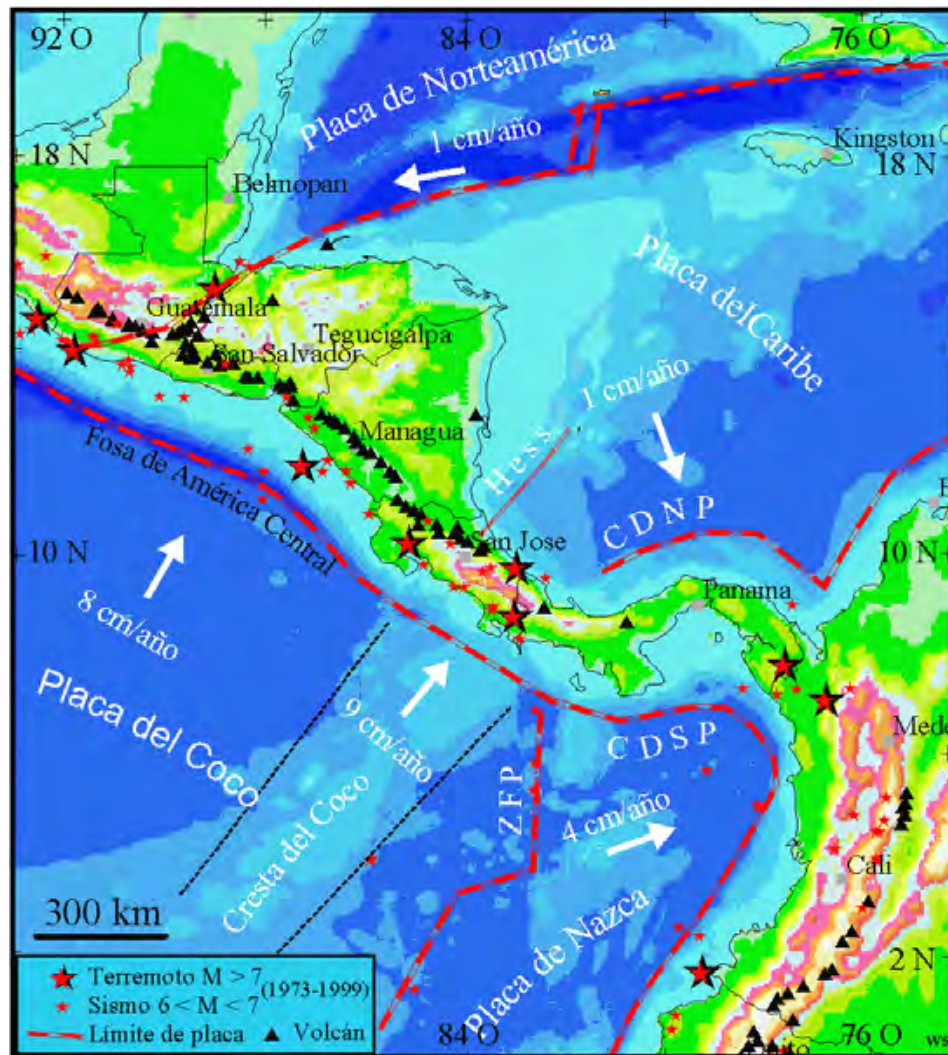


Fig.-1. Mapa tectónico regional de Costa Rica y países vecinos (cortesía W. Strauch)

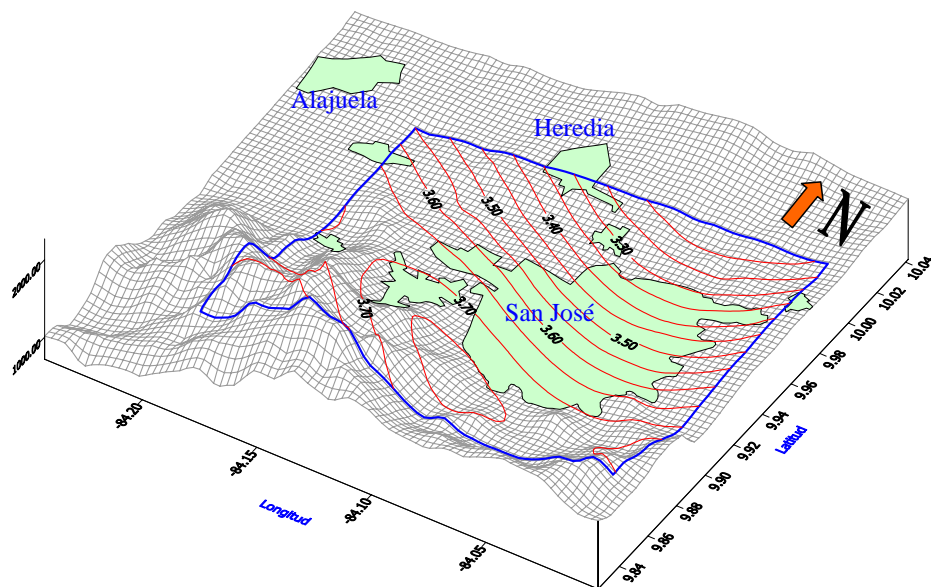


Fig.-2. Aceleración horizontal pico esperada (m/s<sup>2</sup>) para el área estudiada en el Valle Central. Las isólineas representan igual valor de PGA para una probabilidad de excedencia de 10<sup>-2</sup>.

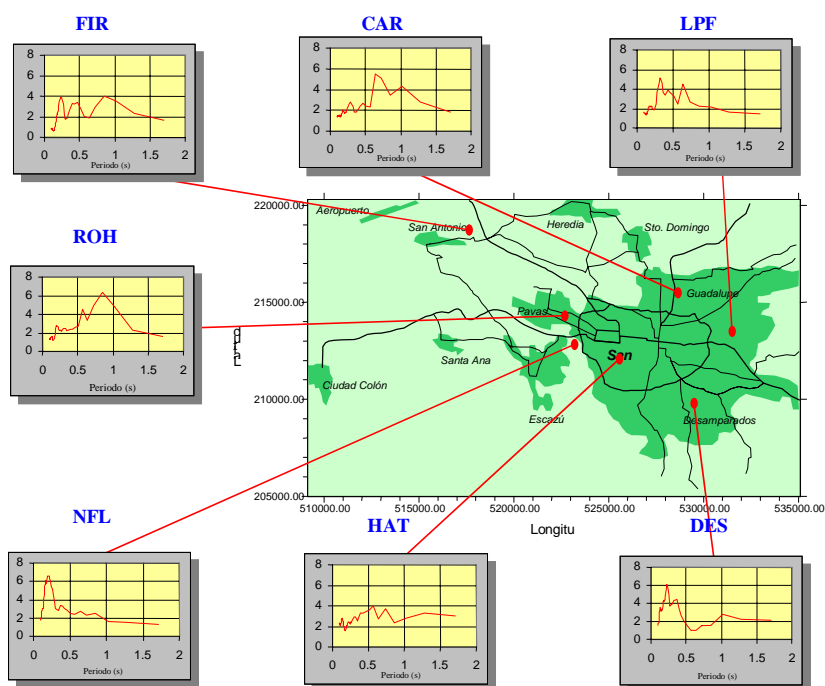


Fig.-3. Efectos de sitio determinados usando la técnica de la razón espectral de la componente horizontal contra la vertical.

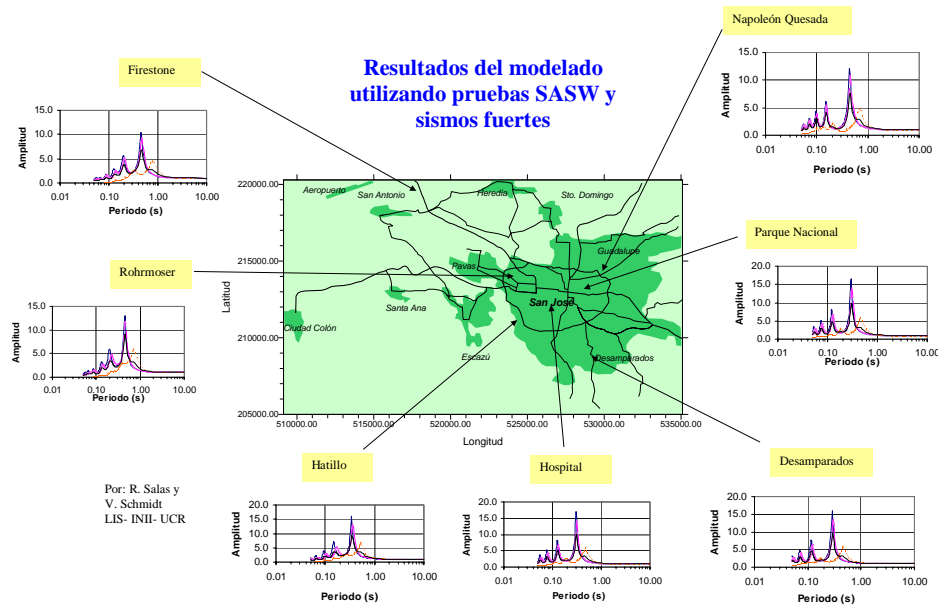


Fig.-4. Funciones de transferencia modeladas con el programa SHAKE, a partir de velocidades de onda cortante obtenidas por medio de pruebas SASW, para señales fuertes de entrada.

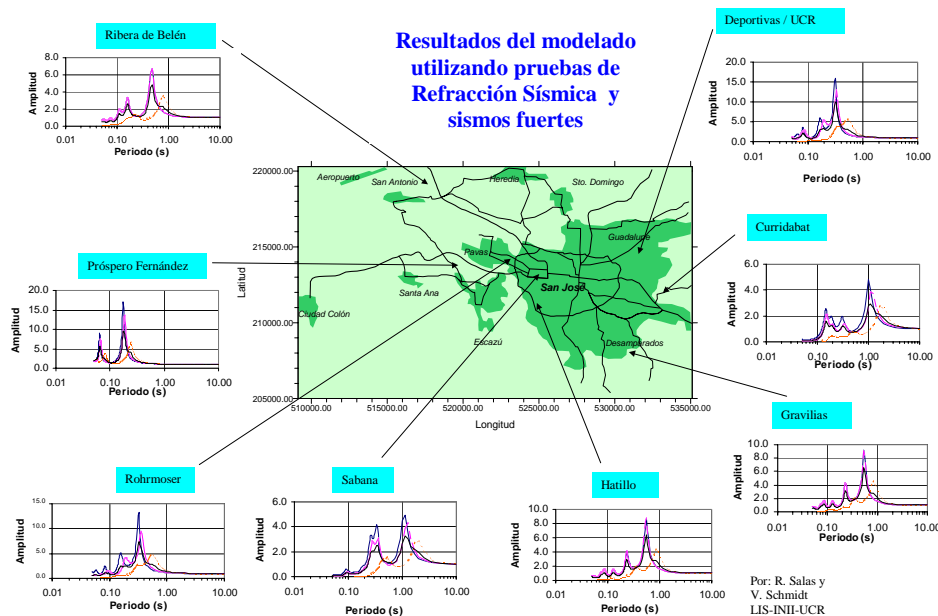
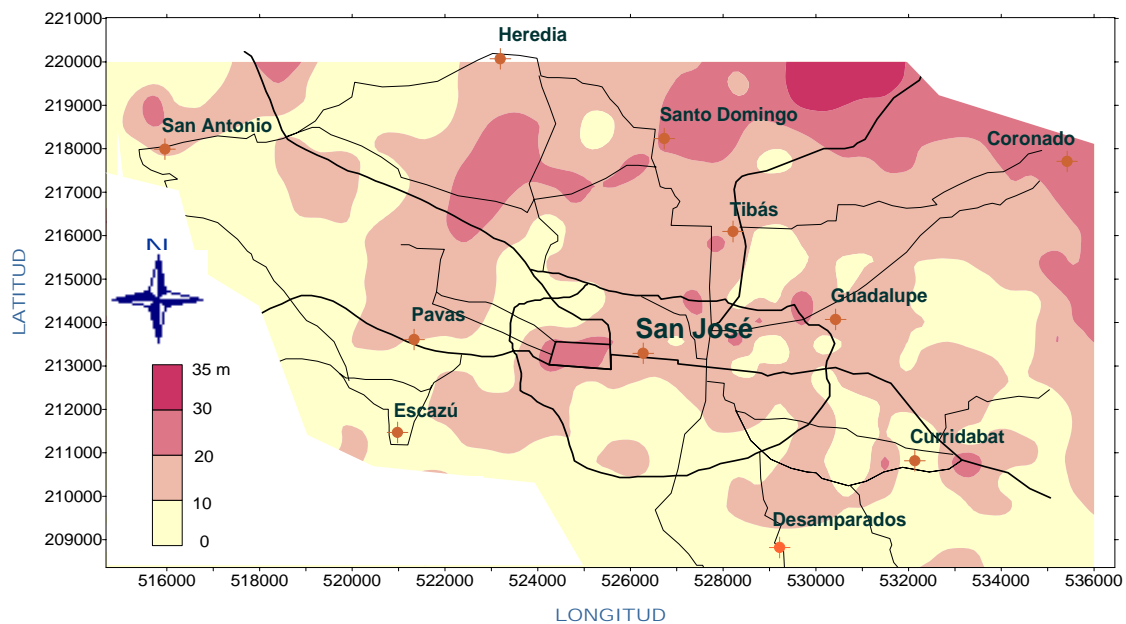


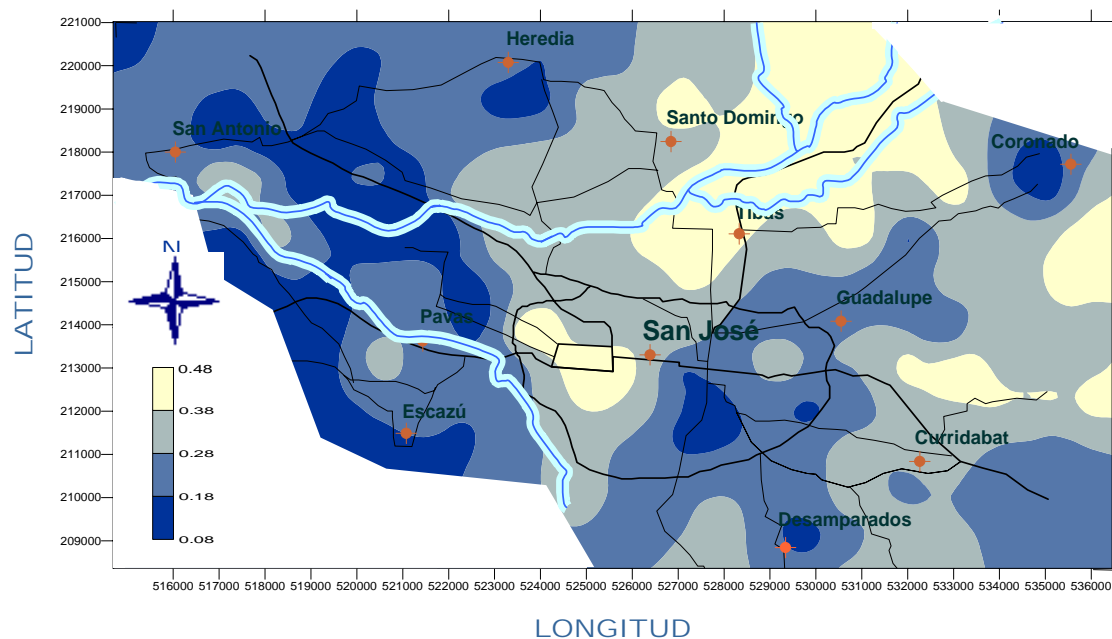
Fig.-5. Funciones de transferencia modeladas con el programa SHAKE, a partir de velocidades de onda cortante obtenidas por medio de pruebas de refracción sísmica, para señales fuertes de entrada.

Estación	Razones espectrales modeladas				Razones espectrales empíricas			
	PGA < 0,15 g		PGA > 0,15 g		Resultados con instrumentos			Mapa de isoperiodos
	SASW	R. Sísmica	SASW	R. Sísmica	Ruido	S/Rock	H/V	H/V
ROH	0,37 – 0,45	0,28 – 0,32	0,45 – 0,70	0,33 – 0,55	0,25	0,33	0,83	0,18 a 0,28
FIR	0,37 – 0,47	-----	0,45 – 0,80	-----	0,25	0,33	0,25 , 0,8	0,28 a 0,38
HAT	0,30 – 0,35	0,42 – 0,55	0,35 – 0,51	0,55 – 0,83	0,35 a 0,4	0,30	0,55	0,28 a 0,38
LPF	-----	-----	-----	-----	0,30	0,30	0,33	0,28 a 0,38
DES	0,25 – 0,28	-----	0,28 – 0,45	-----	0,30	1,0, 0,3	0,25	0,18 a 0,28
CAR/Nap, Q	0,38 – 0,45	-----	0,44 – 0,67	-----	0,3 a 0,5	0,3	0,60	0,28 a 0,38
Ribera	-----	0,33 - 0,50	-----	0,47 – 0,77	-----	-----	-----	0,28 a 0,38
Hospital	0,27 – 0,30	-----	0,30 – 0,46	-----	-----	-----	-----	0,18 a 0,28
P, Nacional	0,27 – 0,30	-----	0,30 – 0,45	-----	-----	-----	-----	0,28 a 0,38
UCR/Deport	-----	0,26 - 0,30	-----	0,31 – 0,51	-----	-----	-----	0,28 a 0,38
Gravilias	-----	0,42 – 0,55	-----	0,52 – 0,82	-----	-----	-----	0,28 a 0,38
Curridabat	-----	0,62 – 1,20	-----	1,10 – 1,80	-----	-----	-----	0,28 a 0,38
Sabana	-----	0,67 – 1,20	-----	1,20 – 2,00	-----	-----	-----	0,44 o mayor

Tabla-1. Comparación de los periodos fundamentales usando las técnicas: razones espectrales modeladas y razones espectrales empíricas.

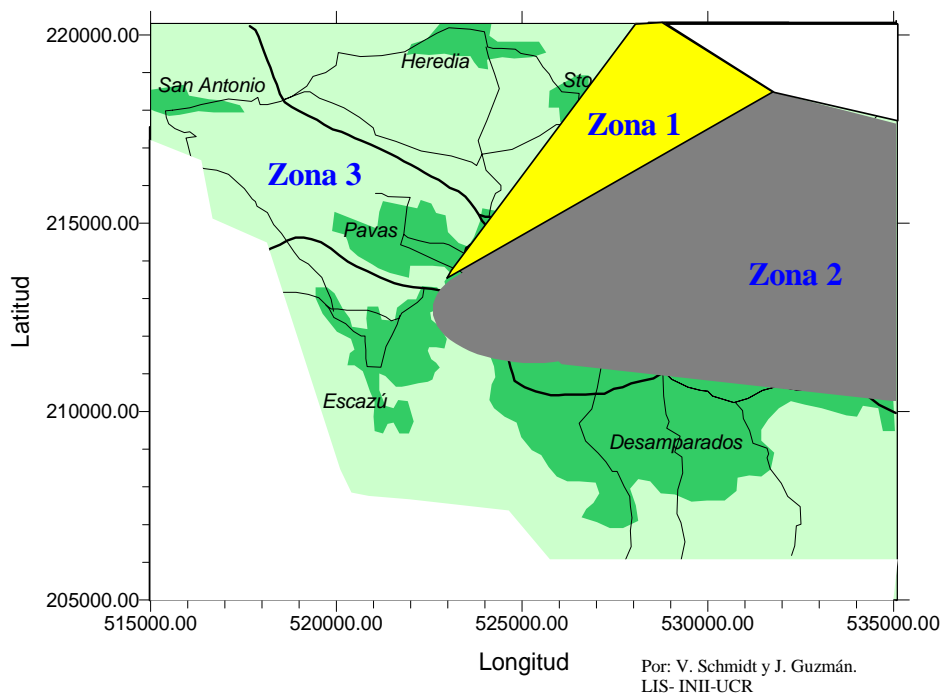


(a) Mapa de espesores de suelo en el Area Metropolitana de San José

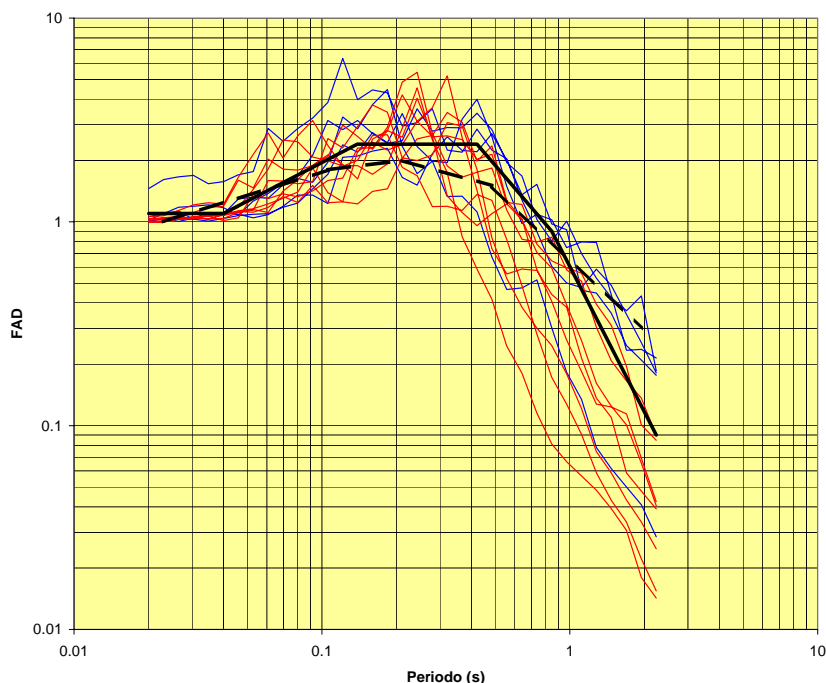


(b) Mapa de isoperiodos del suelo en el Area Metropolitana de San José, obtenido a partir de mediciones de vibraciones ambientales.

Fig.-6 Comparación entre el mapa de espesores de suelo y el de isoperiodos.



**Fig.-7 Mapa de zonificación según suelos con comportamiento dinámico similar. Las zonas sombreadas corresponden a los suelos menos consolidados con periodos de vibración altos, mientras que la zona no sombreada corresponde a los suelos firmes con periodos de vibración bajos.**



**Fig.-8. Comparación entre el espectro de respuesta propuesto según métodos analíticos (línea negra continua) y el obtenido según el estudio de amenaza uniforme (línea negra a trazos) ambos para suelo, con los calculados a partir de registros acelerográficos reales en**





**las estaciones HTO (líneas en azul) y ECA (líneas en rojo), todos calculados para el 5% de amortiguamiento.**



## **RIESGOS GEOLOGICOS Y DEGRADACION AMBIENTAL: EL CASO DEL ASENTAMIENTO URBANO DEL MARIEL, CUBA OCCIDENTAL**

**Bertha E. González Raynal <sup>(1)</sup>, Silvestre E. Pacheco Moreno <sup>(2)</sup>, Ida I. Pedroso  
Herrera <sup>(2)</sup>, Julio. A. García Peláez <sup>(1)</sup>, Luis D. Pérez Lara <sup>(1)</sup>, Manuel Serrano Herrera  
<sup>(1)</sup> y Mario Guerra Oliva <sup>(2)</sup>**

*(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Departamento Ciudad Habana  
Calle 212 No 2906 e/29 y 31, Rpto. La Coronela, Lisa, Ciudad Habana  
Telefs. 272 0830 272 0831 Telefax. 271 1623 e-mail cenais@iga.cu*

*(2) Instituto de Geofísica y Astronomía  
Calle 212 No 2906 e/29 y 31, Rpto. La Coronela, Lisa, Ciudad Habana  
Telefs. 271 0953 271 0208 Telefax. 271 1623 e-mail iga@iga.cu*

### **RESUMEN**

El tema de la degradación ambiental, y la creación de condiciones de riesgo y eventuales desastres en las áreas urbanas, recibió poca atención hasta la última década. Sin embargo, la estrecha relación entre ambos conceptos, ha sido evidenciada en diversos estudios de casos a escala mundial. En Cuba existen numerosos ejemplos de este tipo, en asentamientos urbanos grandes y pequeños, siendo el del Mariel uno de los más ilustrativos.

En el trabajo, se caracteriza el medio ambiente urbano del asentamiento de Mariel y se identifican los fenómenos naturales, de carácter geológico, que constituyen amenazas para su territorio.

Se estiman los periodos de recurrencia de estos fenómenos y sus áreas de impacto, así como la posible interconexión de los mismos.

Se realiza la microzonificación sísmica del núcleo urbano, sobre la base de la geología superficial y el procesamiento y análisis de microsismos de origen antrópico, registrados en puntos geológicamente representativos del territorio, con el fin de determinar las zonas donde se pronostican comportamientos diferentes para los prototipos de sismos susceptibles de afectar el mismo.

Se evalúa la vulnerabilidad global del contexto urbano, que tiene como componentes factores físicos y ambientales, que inciden en la capacidad de respuesta de la población ante un potencial desastre, provocado por fenómenos geológicos peligrosos, y la vulnerabilidad del medio construido, ante eventos sísmicos extremos y deslizamientos de tierra en la Meseta del Mariel.

Por ultimo, se dan ejemplos de cómo la degradación ambiental incrementa el impacto negativo de las amenazas geológicas sobre los asentamientos urbanos en general, y sobre el asentamiento urbano de Mariel en particular

### **INTRODUCCIÓN**

La actividad del hombre, el medio ambiente natural y los desastres están estrechamente vinculados. El rápido e incontrolado crecimiento urbano y socioeconómico, ha afectado de forma adversa el entorno, haciendo a las poblaciones más vulnerables e incrementando la magnitud de las pérdidas por la ocurrencia de fenómenos naturales peligrosos.

Existe de forma cada vez más evidente, una correlación entre la frecuencia y severidad de los desastres naturales, en particular los de carácter geológico, y el aumento de la degradación ambiental local y global.

La degradación ambiental, se puede convertir en un factor desencadenante de fenómenos o procesos naturales que afectan los asentamientos humanos y su hábitat, provocando situaciones de desastre.

Por otra parte, los desastres como materialización de los riesgos, constituyen por si mismos, impactos ambientales con una dimensión variable, en términos espacio-temporales.



El municipio de Mariel, ubicado en el occidente de Cuba, y en particular la cabecera municipal, presentan una marcada degradación ambiental y alta susceptibilidad a las amenazas geológicas, en especial a los deslizamientos de tierra, y en menor medida a los sismos de moderada intensidad, con sus consecuentes peligros geotécnicos asociados. Existen antecedentes en este territorio, de cómo las afectaciones ambientales han incidido en el agravamiento de las consecuencias de los fenómenos naturales, y de cómo la ocurrencia de estos fenómenos, ha producido impactos irreversibles en el medio ambiente natural y socioeconómico.

El objetivo fundamental del trabajo que se presenta es analizar, sobre la óptica anterior, los resultados de la evaluación de los riesgos geológicos a que esta sometido el asentamiento urbano de Mariel, cabecera del municipio del mismo nombre.

### **CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TERRITORIO**

El municipio de Mariel se ubica en la región occidental de Cuba, al Noroeste de la provincia de la Habana (**Fig. 1**). Limita al Norte con el estrecho de la Florida, al Sur con los municipios Guanajay y Artemisa, al Este con el municipio de Caimito y al Oeste con el municipio de Bahía Honda en la provincia de Pinar del Río. Su extensión superficial es de 270,87 km<sup>2</sup> y su población total de 42137 habitantes.



**Fig. 1 Ubicación geográfica del municipio Mariel**

Desde el punto de vista político-administrativo, el municipio está dividido en cinco Consejos Populares, siendo los consejos de Boca-Mujica-Henequen y Mariel, los de mayor población y desarrollo socio-económico, a pesar de ser los de menor extensión. En estos consejos se concentra la mayoría de las industrias y actividad humana, que ha conducido a un deterioro del medio ambiente natural y socioeconómico.

De la población total del municipio, 31 688 (75,20%) personas habitan las zonas urbanas y 10 450 las rurales (24,82%). Existen en la municipalidad 30 asentamientos concentrados, de los cuales, 6 son urbanos y 24 rurales. El asentamiento urbano más importante es Mariel, cabecera municipal, con una población aproximada de 17 336 habitantes.

El municipio posee carácter semirural, con un desarrollo industrial importante, representado por industrias de envergadura nacional como la fábrica de cemento Rene Arcay, que produce cemento gris para la exportación y la Central Termoeléctrica Máximo Gómez, que abastece de energía eléctrica a un sector importante del País.

### **AMENAZAS GEOLÓGICAS QUE ESTÁ SOMETIDO EL TERRITORIO**

Los fenómenos naturales peligrosos son, como los recursos naturales, parte de lo que la naturaleza ofrece al hombre. Estos pueden ser considerados como recursos negativos, porque



alteran los ecosistemas e incrementan el impacto de la degradación. Además de afectar a muchas personas, los fenómenos naturales, en particular los de carácter geológico, ponen de manifiesto, de forma explícita, el daño ocasionado por el hombre al medio ambiente.

La naturaleza del ecosistema natural y su estado de degradación juegan, por su parte, un importante papel en la intensificación de los efectos destructivos de los fenómenos naturales peligrosos, como los ecosistemas montañosos con alto grado de deforestación, en el caso de los deslizamientos de tierra y derrumbes.

El término amenaza es utilizado para designar al peligro latente, que representa una amplia variedad de fenómenos, desde aquellos cuya ocurrencia se debe solo a causas naturales como los sismos, hasta aquellos cuyo origen se debe exclusivamente a la acción humana. Entre estos dos extremos hay una amplia gama de fenómenos como los deslizamientos de tierra, provocados por la combinación de factores naturales y antrópicos.

## **DESLIZAMIENTOS DE TIERRA**

El término genérico *deslizamiento de tierra*, incluye los deslizamientos de tierra propiamente dichos, los derrumbes y el flujo de materiales no consolidados. Estos fenómenos pueden ser desencadenados por terremotos, erupciones volcánicas, lluvias intensas y otros factores naturales y antrópicos, siempre que estén presentes factores permanentes como el tipo de relieve, calidad de la pendiente, tipo de roca o suelo y condiciones hidrológicas que favorecen su ocurrencia. Las condiciones geológicas, topográficas e hidrológicas asociadas a deslizamientos pasados, pueden constituir indicios de cuáles serán las circunstancias naturales o artificiales que podrán estar vinculadas con la ocurrencia de futuros deslizamientos.

### **Antecedentes de deslizamientos de tierra en Mariel**

El escenario de estos fenómenos naturales es la Meseta de Mariel, una elevación de 80 m de altura sobre el nivel del mar, con cima aplanada y laderas con diferente tipo de pendiente. Las laderas Este y Sureste poseen pendientes suaves y alargadas, mientras que las del Oeste y Noroeste, pendientes relativamente abruptas.

Desde comienzos del siglo XX, se han venido reportando deslizamientos en esta área. El fenómeno se hace más intenso, a partir de la década de los años 60 (1968, 1969, 1979 y 1982), mostrándose como un deslizamiento de grandes proporciones, a intervalos, en una zona con marcados síntomas de inestabilidad. La misma, está representada por un gran escarpe tectónico, de unos 30-40 grados de inclinación, donde contactan las calizas de la Formación Güines y las margas de la Formación Universidad. Este contacto litológico se manifiesta claramente en el terreno y coincide con un cambio en la pendiente a partir del cual se ha movido el cuerpo del deslizamiento.

Los deslizamientos de tierra que ocurren en el escenario de las alturas de Mariel, son debidos a procesos naturales de carácter hidrogeológico-geomorfológico (**solifluxión**), a los que se añaden importantes efectos antropicos sobre el macizo rocoso, como por ejemplo, deforestación total del área del deslizamiento y hacia el límite meridional en toda la pendiente; seccionamiento del borde inferior de la pendiente para la construcción de una base de transporte, excavaciones en la propia pendiente del deslizamiento y obstrucción del cauce de una cañada por una carretera, construida como vía de acceso al edificio de la Academia Naval en la parte superior de la elevación.

Todas las condiciones naturales del territorio son favorables para el desarrollo de estos fenómenos, las fuertes pendientes de dos inclinaciones, el contacto litológico entre calizas cavernosas y margas, el escarpe tectónico y el suelo arcilloso (arcillas bentónicas impermeables). El factor disparador más importante, han sido las fuertes precipitaciones asociadas, fundamentalmente, a ciclones tropicales como el Frederic en 1979, que condujeron a un sobrehumedecimiento de la capa arcillosa de suelo y a un aumento en el nivel de las aguas subterráneas, lo cual produjo, en



una superficie inclinada con escasa vegetación herbácea, un plano favorable para el desplazamiento de la masa rocosa.

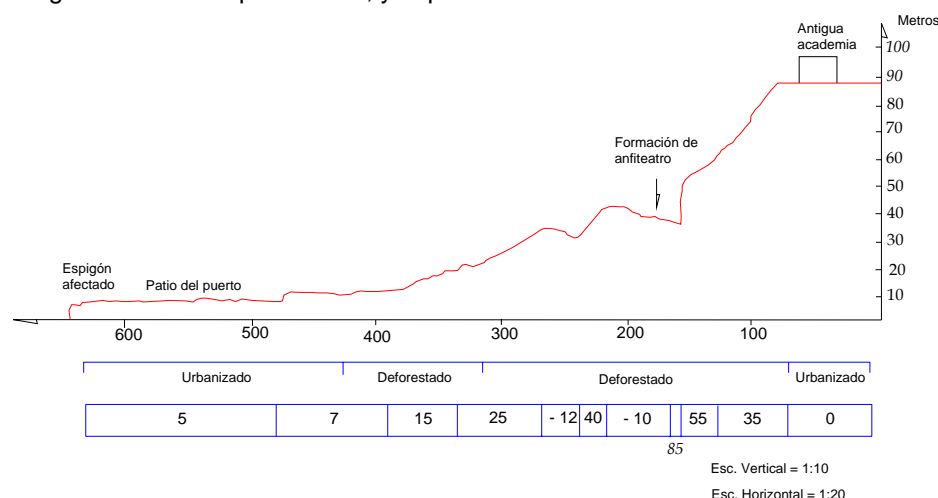
Se debe también señalar que la coincidencia del borde superior del deslizamiento con el contacto litológico antes mencionado, y el cambio de pendiente, sugiere además la existencia de una surgencia de las aguas que atravesaron los estratos cavernosos superiores.

### Manifestaciones actuales de los procesos de inestabilidad de laderas.

Para el análisis y caracterización de los procesos actuales de inestabilidad de laderas, el área investigada fue dividida en dos zonas (Zona No.1 y Zona No. 2). La primera zona es la más activa, de acuerdo con los antecedentes y movimientos actuales, que han ocasionado afectaciones al medio construido. La segunda, posee una menor actividad. Los movimientos que se manifiestan en ambas zonas, pueden ser clasificados como lentos, aunque no se descarta el aumento significativo en la velocidad, por la ocurrencia de fenómenos desencadenantes.

### Zona No. 1.

En esta zona se identifican dos direcciones (vectores deslizantes), a los que se les denominó A y B. El Vector A tiene dirección NW, y su longitud es de 700 m aproximadamente. El origen del vector A se ubica en la escalinata de la antigua Academia Naval, atraviesa la Terminal de Ómnibus y se prolonga en la dirección de los atraques 5, 6 y 7 del puerto de Mariel. (**Fig. 2**). Se observan a lo largo del perfil, como síntomas de inestabilidad, inclinación de árboles y postes de las redes eléctricas en la dirección del deslizamiento. Se pueden apreciar también, la inclinación e irregularidad de las pendientes, y la presencia de los clásicos anfiteatros.



**Fig. 2 Perfil topográfico del vector deslizante A**

En la parte superior de la elevación, ocurrió recientemente el colapso súbito de estructuras constructivas, así como grietas en el terreno y paredes de edificaciones de mampostería y hormigón. En la parte delantera de la masa deslizante, se han producido grietas en la infraestructura creada y derrumbes, vinculados al avance de material terrígeno y poca resistencia al movimiento, que opone la escasa vegetación herbácea existente.

En la parte terminal del vector A, coincidiendo con los atraques 5,6 y 7 del puerto, se pueden apreciar efectos destructivos, asociados al fuerte drenaje de las aguas subterráneas, que acarrearán el material arcilloso (fundamentalmente en los periodos lluviosos), debilitando la base de esta construcción.



Este vector de deslizamiento B, de dirección WNW, tiene su origen a una altura de 70 metros y apunta en dirección al casco urbano de Mariel. Su parte terminal se encuentra en la Ave. 71 y Calle 132 (Parque de la Iglesia), donde brotan numerosos manantiales. Estos últimos han obstruido los refugios populares que con frecuencia se mantienen llenos de agua, variando su nivel en el periodo seco. Se han detectado afectaciones en algunas viviendas, ubicadas en las zonas de máxima pendiente. El enrollamiento del asfalto en el pavimento ha sido notable en los últimos tiempos.

## Zona No. 2.

En ésta zona se identifican tres vectores deslizantes C, D y E. Los vectores C y D son paralelos entre sí, y se encuentran a 200 metros de distancia aproximadamente el uno del otro. Ambos vectores poseen rumbo NW, quedando hacia el frente de avance de los mismos, el casco urbano (Ave. 87). Sus orígenes se encuentran en la cota de 73 metros de altura, y pendientes mayores de 60 grados. Se pueden apreciar rocas sueltas, en posición inestable, que pueden constituir potenciales derrumbes. Se debe destacar que la acción antrópica ha provocado la aparición de claros en la vegetación y la erosión de los suelos que se acumulan en la base.

El Vector **E**, tiene dirección WNW, y apunta hacia el Reparto Victoria. Un área de descenso entre las cotas de 60 y 40 metros de altura, que constituye un gran anfiteatro, se encontró oculta por la vegetación. Esta constituye un relicto en el relieve, que pone de manifiesto que los deslizamientos en el Mariel, se producen desde épocas muy remotas, pudiendo estar asociados a efectos disparadores como intensas lluvias, e incluso sismos en la zona sismogénica Pinar. El brotante de manantiales en la base de los deslizamientos, aparece como una constante en la parte terminal de todos los vectores deslizantes, especialmente en la trama urbana, con una mayor prevalencia en los periodos lluviosos.

## Calculo de los periodos de retorno de los deslizamientos de tierra.

El riesgo de deslizamientos de tierra, es parte de un riesgo global ambiental, ubicuo y complejo. La mayoría de los deslizamientos son producidos por un conjunto de factores, que actúan de forma combinada en el tiempo. Por esta razón, no siempre es factible asignar niveles relativos de significación a las causas de los deslizamientos con algún grado de fiabilidad, sobre todo, cuando están involucradas secuencias complejas de roca y causas diferentes. No obstante, algunos autores han utilizado modelos de probabilidad, para estimar cuantitativamente el peligro a que están sometidas muchas áreas a estos fenómenos naturales.

Crovelli (2000), propone los modelos de Poisson y Binomial, para la estimación del número de deslizamientos que se espera que ocurran, en un área específica, en un intervalo de tiempo determinado.

En el caso que nos ocupa, se utilizó el modelo de Poisson, para la estimación del peligro a que esta sometida la trama urbana de Mariel. El mismo considera la ocurrencia de deslizamientos como un proceso aleatorio en el tiempo.

El modelo de Poisson se basa en las hipótesis siguientes:

1. Los deslizamientos ocurren de forma continua en el tiempo. Los valores de la variable pueden ser "infinitos", por ejemplo, el acumulado anual de lluvia.
2. Los eventos son independientes.
3. La probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en el tiempo, se expresa de la forma siguiente:

$$P\{N(t) = n\} = e^{-\lambda t} \frac{\lambda^n}{n!} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Donde  $\lambda$ : frecuencia de ocurrencia





El período de retorno será entonces

$$\mu = \frac{1}{\lambda}$$

La probabilidad de que ocurra uno o más deslizamientos, durante un tiempo  $t$ , puede ser calculada por medio de la expresión

$$p\{N(t) \geq 1\} = 1 - P\{N(t) = 0\} = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-t/\mu}$$

En la meseta de Mariel se reportaron durante el pasado siglo, 5 deslizamientos de tierra relacionados con las lluvias intensas ocurridas en los años 1911, 1968, 1969, 1979, y 1982.

Por consiguiente:

$$\lambda = \frac{n}{t} = \frac{5}{100} = 0.05(5\%)$$

La frecuencia media anual de ocurrencia de deslizamientos será igual a 0,05 y el período de retorno será entonces.

$$\mu = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,05} = 20 \text{ años}$$

Utilizando este valor del período de retorno, se puede determinar la probabilidad de que ocurran uno o más deslizamientos de tierra en los próximos 5, 10, 20, 25, 50, 75 y 100 años. Los resultados del cálculo se muestran en la **Tabla 1**.

**Tabla 1 Probabilidades de ocurrencia de uno o más deslizamientos de tierra en la meseta del Mariel para diferentes tiempos de exposición.**

Tiempos de Exposición (años)	Probabilidades de ocurrencia (%)
5	23
10	40
20	63
25	72
50	91,8
75	97,6
100	99,3

## TERREMOTOS

Los terremotos son fenómenos naturales de comienzo súbito, causados por la rápida liberación de la energía acumulada lentamente, producto de las deformaciones a lo largo de una falla geológica en la corteza terrestre. Los terremotos constituyen una amenaza severa, debido a la irregularidad de los intervalos temporales en que se manifiestan, la imposibilidad de realizar predicciones confiables del momento de ocurrencia y los peligros geotécnicos que se asocian a los mismos.

### Amenaza Sísmica a que esta sometido el Municipio de Mariel

La situación tectónica actual del Archipiélago cubano, es el resultado de la interacción de la placa del Caribe con las placas Norteamericana, Suramericana, de Cocos y de Nazca. Como consecuencia, el territorio cubano posee dos tipos de sismicidad. El primer tipo esta asociado a la



frontera activa entre las placas del Caribe y Norteamérica, comúnmente llamada como de **“entreplacas”**, que se caracteriza por una frecuencia relativamente alta de ocurrencia de eventos sísmicos de magnitudes medias y grandes en la zona de fallas Oriente. El segundo tipo de sismicidad, conocida como de **“interior de placas,”** se encuentra asociada fundamentalmente a sistemas de fallas regionales activas, y se caracteriza por una baja frecuencia de ocurrencia de eventos. Las magnitudes máximas ( $M_{\max}$ ) de los terremotos correspondientes a este tipo de sismicidad son de 6.0 grados en la escala de Richter, o ligeramente mayores y sus profundidades, no exceden por lo general los 30 km.

La información sobre terremotos contenida en los archivos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas esta conformada por una amplia base de datos de tipo macrosísmico histórico, que data de la llegada de los colonizadores españoles a la Isla, y de los primeros reportes de daños ocasionados por sacudidas sísmicas en las primeras villas fundadas por ellos. El completamiento de esta amplia base de datos fue realizado paulatinamente, según se fueron poblando las distintas regiones del País. El análisis detallado de las descripciones de los daños provocados por eventos sísmicos de mediana y gran intensidad, ha permitido reconstruir los mismos y determinar sus coordenadas epicentrales, profundidad y magnitud.

El grado de completamiento de esta parte del catalogo no es uniforme. Su calidad depende del intervalo de magnitudes analizado. Obviamente, las magnitudes medias y altas son representativas para un periodo de tiempo mucho mayor.

La información de las agencias internacionales correspondiente a los registros instrumentales del área permitió, a comienzos del siglo XX, mejorar el conocimiento sobre la sismicidad de la región. El nivel de detección de los eventos sísmicos ha ido en ascenso, según se ha incrementado el número de estaciones en el área y la calidad de los instrumentos utilizados. En la actualidad la red regional garantiza el registro confiable de los eventos con magnitud mayor que 4,0 en la escala de Richter. Los eventos con magnitudes menores que 4,0, deben ser registrados por las redes locales, en nuestro caso la red del Servicio Sismológico Nacional de Cuba.

### Sismicidad Histórica e Instrumental de Cuba Occidental

El terremoto más fuerte del occidente del País. con descripciones confiables, ocurrió 23 de Enero de 1880 ( $M_S=6.0$ ;  $I_{\max}=VIII$  grados MSK). Su epicentro macrosísmico se ubico en las localidades de San Cristóbal y Candelaria, provincia de Pinar del Río, aproximadamente a 40-50 km de la cabecera municipal de Mariel.

Este fuerte terremoto fue perceptible en toda la región Occidental de Cuba, hasta la actual provincia de Cienfuegos, y hacia el Norte, hasta la península de la Florida. Algunas de las localidades del territorio de provincia Habana, donde se reportaron sus efectos, se muestran en la **Tabla 2.2** (Chuy, T., 1999).

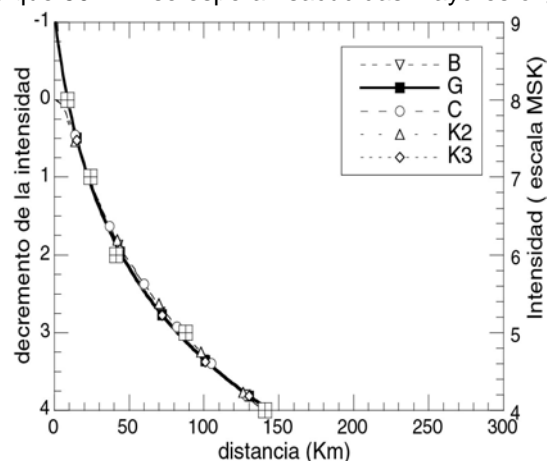
**Tabla 2 Localidades de la Habana afectadas por el sismo de 1880**

Localidad	Intensidad (Escala MSK).
Cabañas	VII
Ceiba del Agua	VI
Alquízar	VI
Bejucal	VI
Mariel	VI
Caimito	VI
Guanajay	VI
Güira de Melena	V-VI
Güines	V
Tapaste	V



Catalina de Güines	V
Jaruco	V
San José de las Lajas.	Sentido sin especificaciones
San Antonio de los Baños.	Sentido sin especificaciones
Batabanó	Sentido sin especificaciones

De territorio de estudio, existen reportes de dos localidades: Cabañas y Mariel, asentamientos fundados en el primer lustro del siglo XIX. En la totalidad del territorio del municipio, debieron producirse sacudidas de VI y VII grados de intensidad, lo que se puede corroborar en la **Fig. 3**, donde se presentan los resultados de la inversión de las intensidades del terremoto anteriormente citado, a partir de cuatro formulaciones diferentes (García 2001). En todos los modelos utilizados, para distancias inferiores que 50 Km. se esperan sacudidas mayores o iguales a VI grados MSK.



**Fig. 3** Ajuste de las intensidades del terremoto ocurrido el 23 de enero de 1880 usando Koveslighety, (1907); con dos (K2) o tres (K3) coeficientes desconocidos, Blake, (1941) (B), Grandori et al. (1985) (G) y, Berardi et al. (1994) (C). En la leyenda, las letras en mayúscula se refieren al modelo utilizado, los cuadrados mayores indican los valores de intensidad a las distancias reales (segundo eje Y). La línea mas gruesa con símbolo relleno representa el modelo con mejor bondad de ajuste.

Por otra parte, se puede apreciar en la **Tabla 3**, que el nivel energético de los eventos perceptibles con epicentro en el territorio de provincia Habana es bajo (2.5-3.8 en la escala de Richter), pero con profundidades estimadas entre los 5 y 10 km. Esto ultimo hace que los estremecimientos en la superficie del terreno, puedan alcanzar intensidades de V grados o mas en la escala MSK, como en el caso del terremoto del año 1953, con epicentro en el caserío "La Jaula" del Consejo Popular de Tapaste, en San José de las Lajas, o más recientemente, el caso del terremoto con epicentro en el poblado de Ganuza, que con sólo una magnitud de 2.8 en la escala de Richter, provocó estremecimientos de grado V-VI, en la escala MSK, en este poblado y en el Centro Penitenciario del mismo nombre.

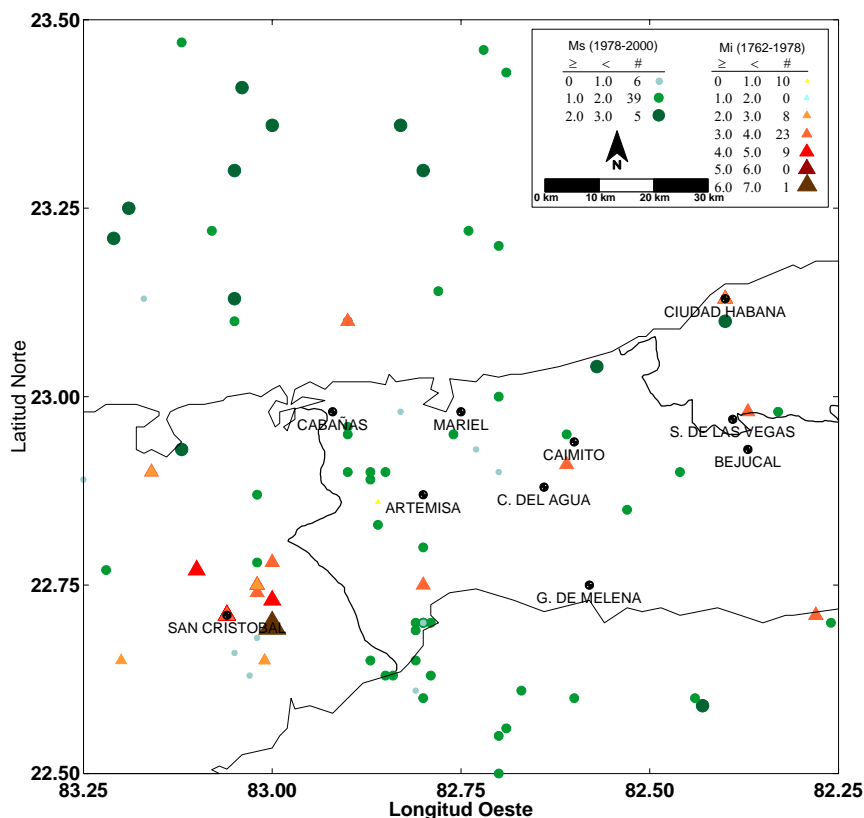
**Tabla 3** Sismos perceptibles con zona epicentral en el territorio de Provincia Habana

AÑO	MES	DIA	LAT-N	LON-W	H(km.)	MS	I <sub>max</sub>	Zona Epicentral
1762	11	13	22.98	82.37	10	3.1	IV	Santiago de las Vegas
1777	7	7	22.83	82.03	10	3.7	V	Güines
1846	10	10	23.00	82.08	10	2.8	IV-V	Madruga
1872	-	-	22.91	81.86	10	2.5	III	Madruga
1880	2	25	22.75	82.80	15	3.6	IV	Las Mangas
1905	-	-	23.05	82.01	10	3.1	IV	Jaruco
1914	5	27	22.72	82.28	10	3.1	IV	Batabanó
1914	5	28	22.72	82.28	10	3.7	V	Batabanó
1921	9	23	22.91	82.61	10	3.1	IV	Caimito-Ceiba del Agua
1953	5	16	23.03	82.13	10	3.8	V	Tapaste



1995	3	9	22.83	82.36	0	2.8	V	Ganuzá
------	---	---	-------	-------	---	-----	---	--------

En la **Fig. 4** se presenta el mapa de epicentros del territorio de provincia Habana. En la mismo, los eventos perceptibles son representados con triángulos y los no perceptibles con círculos. El tamaño del símbolo, está en correspondencia con la magnitud  $M_s$  en el primer caso, y en el segundo, con la magnitud inferida a partir de la intensidad sísmica intensidad. La actividad sísmica mas reciente en esta región esta sujeta a un margen de error significativo, en cuanto la ubicación espacial de los epicentros, debido a la ausencia de estaciones sismológicas que permitan mejorar estos estimados.



**Fig. 4 Mapa de epicentros de sismos del oeste de las provincias habaneras**

### Estimación del Peligro Sísmico

El proceso de estimación del peligro sísmico involucra varias etapas. Primeramente, se requiere conocer, donde ocurren los terremotos, con que fuerza y frecuencia y como se van a manifestar sus efectos, a diferentes distancias del foco o hipocentro del mismo. Por ultimo, mediante un determinado algoritmo de calculo (Cornell, 1968, McGuire, 1976 y otros), se obtienen los estimados del peligro sísmico a que esta sometido un lugar específico o una región, que se representan en forma de curvas o mapas.

### Zonas sismogeneratoras.

Las zonas sismogénicas son regiones geográficas susceptibles, por sus características geológicas, de generar sismos fuertes. Estas zonas están asociadas, por lo general, con fallas activas en la etapa neotectónica, con estructuras que han jugado un papel importante en la evolución tectónica de un territorio y se encuentran aun activas. El régimen sísmico de los eventos asociados a estas estructuras, puede ser bien diferente (en función de una serie de parámetros que determinan su



potencial) y se expresa por la frecuencia temporal de ocurrencia de eventos sísmicos y por la magnitud (energía) de los mismos.

La región occidental de Cuba, es una zona de baja sismicidad. Las magnitudes máximas observadas no han excedido el valor 6,0 en la escala de Richter. A esto se añade, la ausencia o escaso número de estaciones sismológicas, que provoca la pérdida de información sobre los sismos de bajas magnitudes. Debido a esto, muchos consideran a esta zona como asísmica.

La delimitación de las zonas sismogénicas en las zonas de baja sismicidad se hace sumamente compleja, ya que muchas fallas no poseen una clara expresión en el relieve, o se encuentran cubiertas, resultando difícil el trazado y evaluación de las mismas.

La región del Mariel se encuentra afectada por la zona de Fallas Pinar, que ocupa una posición peculiar entre las estructuras disyuntivas de Cuba, por delimitar dos zonas diferentes en cuanto a facies y tectónica. Es una falla profunda (25 km), con 160 km de extensión y 4 km de ancho. La misma afecta toda la provincia de Pinar del Río y parte de la actual provincia Habana.

A la falla Pinar se le considera una falla de segunda categoría (Chuy y Álvarez, 1995; Rodríguez et al., 1997; García 2001) de acuerdo con su potencialidad sísmica, con una magnitud del terremoto máximo asociado  $M_{\max} = 6.0-6.5$ . Este valor es próximo al de la magnitud máxima observada, correspondiente al terremoto de 1880. La zona de Fallas Pinar se encuentra a una distancia hipocentral mínima de 20 km del territorio del Mariel, por lo que constituye la mayor amenaza sísmica para el mismo. El epicentro macrosísmico del terremoto de 1880, como se mencionó anteriormente, se encuentra a una distancia de 45 km de la cabecera municipal.

Existen otras estructuras con menor potencial sísmico en la región occidental. Por su proximidad al territorio, se debe tomar en cuenta la falla Mariel-Carraguao, que afecta el flanco Este de la Bahía de Mariel, y se encuentra activa en la actualidad (Iturralde-Vinent, 2002, comunicación personal). A esta estructura se le puede asociar la actividad sísmica local del territorio, comprendida en un área de radio inferior a 20 km. Sin embargo, la magnitud de estos sismos, no debe exceder los 4.0- 4,5 grados en la escala de Richter.

#### **Cálculo de los periodos de retorno.**

La región occidental de Cuba, ha sido objeto de varios trabajos de estimación del peligro sísmico, desde mediados de la década del 80. Se utilizaron para ello diferentes metodologías, con variaciones en los datos de entrada. En su mayoría, estos datos están constituidos por estimaciones puntuales, de periodos de recurrencia o retorno, de sacudidas de diferentes valores de intensidad (o parámetros del movimiento del terreno), en redes regulares que cubren la totalidad del territorio estudiado. Los resultados iniciales son procesados posteriormente, para preparar los diferentes tipos de mapas y gráficos que caracterizan a las evaluaciones del peligro.

A partir de las bases de datos de los resultados de los trabajos existentes en el archivo del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, se obtuvieron, mediante una interpolación espacial por el método del inverso de la distancia, los valores de los periodos de recurrencia correspondientes al área de interés, para intensidad sísmica y aceleración, los cuales se muestran en las **Tablas 4 y 5**.

**Tabla 4 Periodos de recurrencia o retorno de las sacudidas en el área de estudio para diferentes grados de intensidad sísmica (escala MSK).**

IV	V	VI	VII	VIII	IX
46,85	130,16	334,25	906	2737,5	50911

**Tabla 5 Periodos de recurrencia o retorno de las sacudidas en el área de estudio para la aceleración pico horizontal en % de g.**



4%	10%	20%	30%	40%
114	898	6820	15277	104436

A partir de esos valores se confeccionaron, utilizando un modelo poissoniano de ocurrencia de sacudidas, gráficos de probabilidad de que no sean igualados o excedidos valores dados de intensidad para tiempos de espera de 10, 20, 50, 70, 100 y 200 años.

### Mapa de multiamenazas naturales del municipio Mariel

Cuando un territorio está expuesto a más de un peligro, un mapa de peligros múltiples (MPM) permite a los decisores y planificadores analizarlos de forma conjunta con respecto a la vulnerabilidad y el riesgo. Este mapa es de gran utilidad en la planificación de nuevos proyectos de desarrollo y en la incorporación de técnicas para reducción del riesgo, dentro de la actividad de desarrollo existente.

El propósito principal del mapa de multiamenazas, es presentar la información relacionada con diferentes peligros para un territorio en un solo mapa, donde se muestre un cuadro compuesto de los peligros naturales con diferentes frecuencias, magnitudes y áreas de impacto.

Muchos peligros naturales pueden ser causados por un mismo evento natural. El mecanismo que origina el evento puede interconectar varios peligros y se le puede identificar más fácilmente mediante el uso de mapas de este tipo. Tal es el caso, por ejemplo, de los sismos.

Las características del fenómeno natural y sus mecanismos desencadenantes, son sintetizados a partir de diferentes fuentes y presentados en un solo mapa.

El municipio del Mariel se encuentra sometido a amenazas múltiples de carácter geológico e hidrometeorológico. En la **Tabla 6**, se presenta un resumen de las que afectan a los principales asentamientos poblacionales.

**Tabla 6 Multiamenazas naturales a que están sometidos los principales asentamientos poblacionales urbanos y rurales del municipio Mariel.**

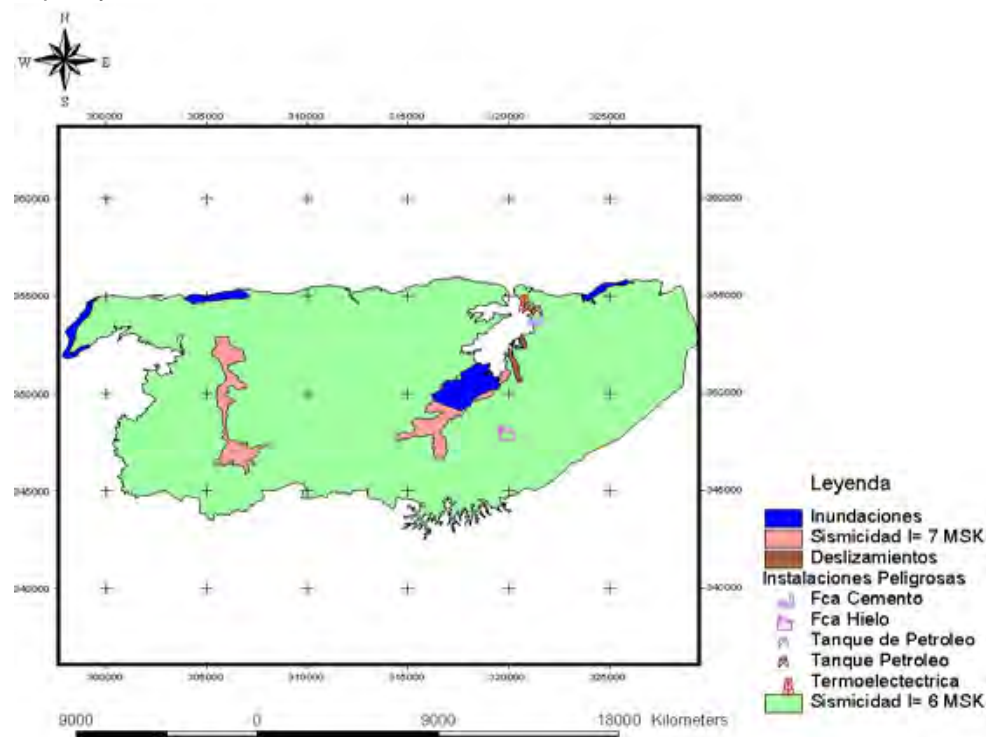
No	Asentamientos Poblacionales	Deslizamientos	Sismos	Inundaciones		Vientos Fuertes	Lluvias Intensas
				Costeras	Terrestres		
1	Mariel	X	x	x	x	x	X
2	Sandino		x			x	X
3	Cabañas		x		x	x	X
4	El Henequén		x	x		x	X
5	Nodarse		x			x	X
6	Quiebra Hacha		x			x	X
7	Angosta		x			x	X
8	La Conchita		x			x	X
9	Dominica		x		x	x	X
10	Entronque Santa Isabel		x			x	X
11	Las Mangas		x			x	X
12	Nuevo Mariel		x			x	X
13	La Sabana		x			x	X
14	San Jacinto		x			x	X
15	Santa Isabel		x			x	X
16	Vista del Mar		x	x		x	X
17	Zayas		x			x	X
18	Granma		x	x		x	X
19	Josefina I		x			x	X
20	Josefina II		x			x	X
21	Tabla de Agua		x			x	X





Las áreas de impacto de los diferentes peligros son variables, así como su frecuencia de ocurrencia. Por ejemplo, los vientos fuertes y las lluvias intensas afectan a todos los asentamientos, no así las inundaciones y deslizamientos de tierra, que son localizados y afectan asentamientos específicos.

En la **Fig. 5**, se muestra el mapa de multiamenazas naturales del municipio, donde han sido superpuestas algunas instalaciones peligrosas por almacenar sustancias contaminantes. La mayoría de estas instalaciones se concentran en la parte nordeste del Municipio en los consejos Boca-Mujica-Henequén y Mariel.



**Fig. 5 Mapa de multiamenazas naturales del municipio del Mariel**

## VULNERABILIDAD Y RIESGO DE AMENAZAS NATURALES DE ÁREAS URBANAS DE MARIEL

Se presenta una evaluación de la vulnerabilidad global del territorio del municipio de Mariel y de sus áreas urbanas, así como de la vulnerabilidad y el riesgo, de las amenazas geológicas (sismos y deslizamientos) a que están sometidas. Algunas amenazas poseen el potencial de afectar un área extensa de su territorio, como los sismos y otras un área restringida, como los deslizamientos de tierra y las inundaciones. Unas amenazas poseen periodos largos de recurrencia o retorno como los terremotos, y otras ocurren con relativa frecuencia como los deslizamientos de tierra, en los que intervienen las lluvias intensas y prolongadas como uno de los factores desencadenantes.

En el Mariel se producen de forma recurrente, pequeños y medianos desastres provocados por los deslizamientos de tierra que impactan su población, economía y desarrollo y cuyos efectos no trascienden del nivel local. Sin embargo, su relativa frecuencia y condición recurrente pueden ser tan graves o provocar tantas pérdidas acumulativas, como las generadas por un gran desastre.

Por ejemplo, por destrucción parcial o total de viviendas, las pérdidas económicas ascienden a 4 800 000 pesos aproximadamente, por atención a 1200 personas evacuadas a 240 000 pesos, por afectaciones a la base de transporte a 1 500 000 pesos, por afectaciones a almacenes del MINED



y otras instalaciones a 80 000 pesos, por afectaciones a las redes eléctrica e hidráulica a 80 000 pesos, por roturas de carreteras y aceras a 30 000 pesos y por afectaciones en el puerto, la cifra supera los 6 000 000 de pesos.

Actualmente, por tratarse de un fenómeno que se manifiesta de forma lenta y paulatina, continúan produciéndose afectaciones en muchas viviendas como grietas en los muros y en los pisos.

### **Vulnerabilidad compleja o global (enfoque multidimensional)**

El análisis de la vulnerabilidad ha sido muy controvertido, ya que algunas definiciones, excluyen los imponderables, que están dentro de la llamada vulnerabilidad social y son difíciles de evaluar.

Recientemente, se han introducido enfoques holísticos para la evaluación del riesgo, donde se define una vulnerabilidad total, que constituye la suma ponderada de diferentes vulnerabilidades: estructural, funcional, económica, laboral, cultural y psicológica (Villagran, 2001).

Zilbert (2001) introdujo un enfoque multidimensional de vulnerabilidad, a la cual denomina compleja o global, que incluye las condiciones que hacen difícil la recuperación de una comunidad de los efectos de un desastre. Los componentes de esta vulnerabilidad a los que la autora denomina **factores de vulnerabilidad** son ambientales o ecológicos, físicos, económicos, sociales, educativos, culturales, políticos y organizativos:

### **Factores componentes de la vulnerabilidad global en Mariel**

#### **Factores Ambientales:**

- Uso de tecnologías de producción contaminantes en la fábrica de cemento Rene Arcay y en la Central Termoeléctrica Máximo Gómez.
- Mala calidad del agua utilizada para el consumo humano en el asentamiento de la Boca de Mariel, procedente de la presa Mosquito y en otros asentamientos.
- Transporte de sustancias peligrosas, a través de las calles del asentamiento urbano de Mariel sin medidas de protección adecuadas.
- Prácticas mineras inadecuadas en las canteras de la fábrica de cemento.
- Deficiente evacuación de residuales de la termoeléctrica.
- Proliferación de microvertederos en áreas urbanas.
- Deficiente evacuación de residuales domésticos en asentamientos urbanos.
- Deforestación intensa de núcleos forestales y laderas de elevaciones.
- Alta contaminación del aire por gases y polvo y del agua, por metales pesados y otras sustancias nocivas.
- Antropismo en la zona costera

#### **Factores físicos:**

- Más del 35 % del total de viviendas del municipio en estado técnico regular y malo.
- Elevada concentración de población e instalaciones críticas al este del municipio, en zonas propensas a amenazas naturales.
- Proliferación de viviendas improvisadas en laderas inestables.
- Proliferación de viviendas en áreas con restricciones por su proximidad a tanques de combustible y líneas de alta tensión.
- Proliferación de viviendas en áreas propensas a las penetraciones del mar.
- Déficit de agua potable en el municipio por escaso caudal de aguas subterráneas
- Suelos de baja y mediana productividad en el territorio, lo cual limita la diversificación de la agricultura.



- Distribución desigual de la población, que produce un fuerte movimiento migratorio de la misma de oeste a este.

**Factores económicos:**

- Existencia de industrias de alcance nacional.
- El 25,65% de la fuerza laboral esta vinculada a la industria y el 24,2% a la agricultura.
- Limitación de tareas de mantenimiento, reparación y rehabilitación de viviendas y otras instalaciones por falta de recursos.

**Factores sociales:**

- La población urbana constituye el 75,2% y la rural el 24,8%. La población dispersa asciende a 1167 personas.
- El 12,07% de la población total del municipio (42 139 hab.), esta compuesta por personas de la tercera edad, considerado como el grupo mas vulnerable.
- La población infantil y juvenil en edad no laboral, constituye el 30,37 %. El 7,45% son lactantes (0-4 años).
- Existe déficit de viviendas en algunos asentamientos. El índice de hacinamiento oscila entre 3,7 y 4,5 habitantes/ vivienda.
- Alta movilidad de la población (3952 personas) de las cuales, 2577 realizan movimientos internos para dirigirse a los centros de trabajo.
- Incidencia de enfermedades respiratorias agudas y diarreicas recurrentes debido a la contaminación del agua y el aire.

**Factores educativos**

- No existe una capacitación suficiente, especialmente en la población adulta, sobre la preservación del medio ambiente y los riesgos a que esta sometido el territorio.

**Factores ideológico-culturales**

- No existe una adecuada percepción del riesgo en muchas personas. .

**Factores políticos**

- Existe un plan único de medidas para casos de catástrofes del municipio, pero debe ser perfeccionado, ya que no incluye algunas amenazas y sus potenciales efectos sobre la población y la economía.
- Existe un plan de ordenamiento territorial y de uso de suelo y políticas para la protección del medio ambiente y los recursos, así como también medidas restrictivas para la construcción en determinadas zonas, pero en muchos casos estas no se cumplen por parte de algunos organismos y la población.

**Factores institucionales:**

- Existen las instituciones indicadas con sus roles y funciones, así como la capacidad técnica adecuada, pero hay limitaciones de recursos para la toma de medidas preventivas. Se priorizan las tareas de enfrentamiento.

Después de realizado el análisis de los factores componentes de la vulnerabilidad compleja o global del municipio, se puede concluir que el mayor peso relativo corresponde a los factores ambientales, físicos y sociales. Esto se debe al fuerte impacto negativo que ha recibido, a lo largo de los años, el medio ambiente natural y construido, por la acción antrópica y de las amenazas naturales. Los consejos populares con una mayor vulnerabilidad global son Boca-Mujica-Henequén y Mariel.

**Vulnerabilidad y riesgo sísmico**



La vulnerabilidad de los edificios es determinada por dos factores: (1) la intensidad de los movimientos sísmicos en el área (2) la vulnerabilidad de los edificios a esa intensidad. Ambos factores son independientes, ya que la vulnerabilidad de cada edificio en particular, es una característica intrínseca del mismo. Se debe señalar que el mecanismo de propagación de las ondas sísmicas posee un carácter complejo. Por lo general, la intensidad de los movimientos sísmicos aumenta con la magnitud y disminuye con la distancia al epicentro. Los movimientos sísmicos pueden ser amplificados por los efectos de resonancia entre la onda sísmica y el terreno, y entre el terreno y las edificaciones. La duración del sismo es también importante en las consecuencias del mismo.

Las ondas sísmicas hacen vibrar el terreno y las edificaciones. Las ondas de compresión (P) y las de cizalla (S), causan principalmente vibraciones de alta frecuencia (mayores que 1Hz), las cuales inducen vibraciones en las edificaciones de periodo corto. Las ondas S producen mayores daños porque los edificios son mas vulnerables a los movimientos horizontales que a los verticales.

Las ondas superficiales que arriban más tarde, son de baja frecuencia, causando vibraciones de periodo largo, que afectan las estructuras esbeltas, que poseen periodos naturales también largos.

Bajo ciertas condiciones, las vibraciones sísmicas son amplificadas por la resonancia entre el terreno y la edificación. Debido a que las amplitudes de las ondas de baja frecuencia decrecen más lentamente que las de las ondas de alta frecuencia, es común observar serios daños en los edificios altos a distancias considerablemente grandes del epicentro. Por las consideraciones anteriores, para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de forma confiable, se requiere conocer primeramente, cuales son los prototipos de terremotos (escenarios), susceptibles de afectar el territorio y los efectos que deberán producir sobre el mismo, en función de su magnitud y distancia hipocentral.

Para el territorio del municipio de Mariel los sismos con una mayor incidencia son:

- 1- Sismo cercano con epicentro en la zona de fallas Pinar, similar al del 23 de enero de 1880 ( $M=6,0$  MSK;  $\Delta=45$  Km.), los periodos de las oscilaciones para este evento, oscilan entre 0,8-0,5 seg.
- 2- Sismo local en la Bahía de Mariel, asociado a la intersección (nodo) de dos alineamientos tectónicos, uno de ellos coincidente con la falla Mariel Carraguao ( $M= 4,5$ ;  $\Delta = 10$  km), los periodos de las oscilaciones producidas por este evento oscilan entre 0,14-0,23 seg

El primero de estos sismos, puede producir intensidades entre V-VII grados en todo el territorio del Municipio, y el segundo, de V-VI grados en el asentamiento urbano de Mariel.

Tomando en consideración la posibilidad real de dichos eventos, se decidió, en una primera etapa, realizar una evaluación general de los potenciales daños en el sector de la vivienda, a nivel municipal, para los asentamientos urbanos, rurales concentrados y rurales dispersos en general, por las características específicas del municipio. En una segunda etapa, se evaluaron los daños en los asentamientos urbanos de Mariel y Cabañas, por ser los de mayor importancia.

#### **Estimación de los daños potenciales en las viviendas para diferentes niveles de la amenaza sísmica.**

Para la obtención de los estimados, se utilizó la matriz de daños de la escala MSK-80, adoptada en nuestro país, en la que se definen seis índices de daños **SD**, **DI.**, **DM**, **DC**, **DG** y **DT**, cuyo significado es el siguiente

- SD: ausencia de daños
- DI.: daños ligeros



- DM: daños moderados
- DC: daños de consideración
- DG: daños graves
- DT: destrucción total

[Como resultado de los cálculos, se obtiene el número de viviendas que va a sufrir daños, independientemente de su tipología constructiva.

Para la aplicación de la matriz de daños de la escala MSK, las tipologías constructivas de la Vivienda (I-VII), fueron transformadas a las de los tipos de la escala MSK (A, B y C).

En las **Tablas 7 y 8**, aparece reflejada la expectativa de daños para las zonas habitadas del municipio del Mariel en el caso de ocurrencia de sismos que produzcan sacudidas de intensidades de VI, y VII grados (MSK) en su territorio.

**Tabla 7 Expectativa de daños a Nivel Municipal I= VI MSK.**

Zonas Habitadas	Total de viviendas	Tipo según la Escala MSK			N <sub>SD</sub>	N <sub>DL</sub>	N <sub>DM</sub>	N <sub>DC</sub>
		A	B	C				
Asentamientos urbanos	7527	1734	1548	4245	5716	1725	86	-
Asentamientos rurales concentrados	2351	1284	493	574	1107	1219	25	-
Asentamientos rurales dispersos	985	122	691	172	831	150	6	-
<b>Total</b>	<b>10 863</b>	<b>3140</b>	<b>2732</b>	<b>4991</b>	<b>7654</b>	<b>3094</b>	<b>117</b>	<b>-</b>

**Tabla 8 Expectativa de daños a Nivel Municipal I= VII MSK.**

Zonas Habitadas	Total de viviendas	Tipo según la Escala MSK			N <sub>SD</sub>	N <sub>DL</sub>	N <sub>DM</sub>	N <sub>DC</sub>	N <sub>DG</sub>
		A	B	C					
Asentamientos urbanos	7527	1734	1548	4245	4680	1746	657	347	87
Asentamientos rurales concentrados	2351	1284	493	574	1090	584	356	257	64
Asentamientos rurales Dispersos	985	122	691	172	520	272	162	25	6
<b>Total</b>	<b>10 863</b>	<b>3140</b>	<b>2732</b>	<b>4991</b>	<b>6290</b>	<b>2602</b>	<b>1175</b>	<b>628</b>	<b>157</b>

En los asentamientos urbanos de Mariel y Cabañas, los de mayor importancia del municipio, viven 17336 y 4674 personas, en 4635 y 1019 viviendas, para un índice de ocupación o hacinamiento de 3,7 y 4,5 habitantes promedio por vivienda respectivamente. Predominan en ambos asentamientos, las viviendas de 1-2 niveles o plantas

En la **Tabla 9** se muestra el estado y la tipología de la vivienda en los asentamientos urbanos de Mariel y Cabañas.

**Tabla. 9 Tipología y Estado Técnico Constructivo de la Vivienda.**

Asentamiento	Tipo A				Tipo B				Tipo C				No total de viviendas
	B	R	M	T	B	R	M	T	B	R	M	T	
Mariel	3	200	505	708	275	764	165	1194	2120	277	90	2487	4389
Cabañas	34	30	7	71	343	227	22	589	318	33	8	359	1019

La expectativa de daños en los asentamientos urbanos de Mariel y Cabañas, como consecuencia de la ocurrencia de los prototipos de sismos con mayor incidencia en el territorio, susceptibles de



producir sacudidas de VI y VII grados, y aceleraciones de 0,08g y 0,059g, se muestran en las **Tablas 10 y 11**.

**Tabla 10 Expectativa de daños para un sismo de I=VI**

Asentamiento	N <sub>T</sub>	Tipos			N <sub>SD</sub>	N <sub>DL</sub>	N <sub>DM</sub>	N <sub>DC</sub>
		A	B	C				
Mariel	4389	708	1194	2120	3608	732	35	-
Cabañas	1079	71	589	359	954	97	4	-

**Tabla 11 Expectativa de daños para un sismo de I = VII**

Asentamiento	N <sub>T</sub>	Tipos			N <sub>SD</sub>	N <sub>DL</sub>	N <sub>DM</sub>	N <sub>DC</sub>	N <sub>G</sub>
		A	B	C					
Mariel	4389	708	1194	2120	2505	1348	380	141	35
Cabañas	1079	71	589	359	603	305	132	14	4

### Potenciales pérdidas materiales en el sistema de la vivienda.

La estimación de las potenciales pérdidas materiales, debidas a la ocurrencia de sismos de moderada intensidad (VI-VII), en el territorio del municipio de Mariel, se realizó partiendo del costo de reposición de las viviendas. Se adecuaron los valores propuestos en el programa para el desarrollo tecnológico de la vivienda, correspondiente al período 1997-2000 (Instituto Nacional de la vivienda, 1997) a los de la clasificación en tipos de la escala MSK-80.

Los valores en MN y MLC para ambas clasificaciones se presentan en la **Tabla 12**.

**Tabla. 12 Costo de Reposición de las viviendas.**

Costo de Reposición		Inst. Nac. de la vivienda	Escala MSK
MN (miles de pesos)	MLC (miles de US)		
17	1,5	I	C
14	1,2	II	B
10	0,8	III	B
8	0,6	IV	A
6	0,5	V	A

Para estimar la variación del costo de reposición de las viviendas (según la tipología), en función del estado o nivel de daños, se utilizó la clasificación propuesta por Hirschberg y otros (1978), que se muestra en la **Tabla 13**.

**Tabla 13 Costo de reposición de las estructuras según el nivel de daños.**

Estado de la Estructura	Costo de Reposición (%)
Sin daños	0 - 0,5
Ligeramente dañada	0,5 - 1,25
Moderadamente dañada	1,25 - 7,5
Considerablemente dañada	7,5 - 6,5
Gravemente dañada o condenada	65 - 100
Colapsada totalmente	100

Para el cálculo de las pérdidas en las viviendas (en unidades monetarias), se utilizó la fórmula

$$P = C. I$$





Donde **P** constituye la pérdida para cada tipología constructiva, **C** el costo de reposición, e **I** la variación del costo de reposición, de acuerdo con el estado de daños de la estructura, en el caso de ocurrencia de sismos de VI y VII grados de intensidad. Las pérdidas están expresadas en miles de pesos y miles de dólares.

**Tabla 14 Expectativa de pérdidas a Nivel Municipal I= VI MSK.**

Zonas Habitadas	Total de Viviendas	Tipo según la Escala MSK			P <sub>A</sub>		P <sub>B</sub>	
		A	B	C	MN	MLC	MN	MLC
Asentamientos urbanos	7527	1734	1548	4245	142,0	10,7	16,4	1,33
Asentamientos rurales concentrados	2351	1284	493	574	106,7	8,4	0,53	0,06
Asentamientos rurales dispersos	985	122	691	172	48,0	3,8	0,22	0,01
Total	10 863	3140	2732	4991	296,7	22,9	17,2	1,4

**Tabla 15 Expectativa de pérdidas a Nivel Municipal I= VII MSK.**

Zonas Habitadas	Total de Viviendas	Tipo según la Escala MSK			P <sub>A</sub>		P <sub>B</sub>	
		A	B	C	MN	MLC	MN	MLC
Asentamientos urbanos	7527	1734	1548	4245	650,0	52,0	54,0	5,3
Asentamientos rurales concentrados	2351	1284	493	574	590,0	43,0	10,2	1,4
Asentamientos rurales dispersos	985	122	691	172	230,0	21,0	1,62	0,18
Total	10 863	3140	2732	4991	1470	116,0	65,8	6,9

### **Vulnerabilidad y riesgo de la vivienda en las zonas con amenaza de deslizamientos**

Para la realización del presente análisis, se partió del concepto general de vulnerabilidad a las amenazas naturales, con algunas adecuaciones, debido al carácter socio-natural de este tipo de amenaza, donde en su ocurrencia e intensidad interviene la acción humana.

#### **Análisis de la Vulnerabilidad**

En el caso de Mariel se analizaron, de forma conjunta, aspectos naturales y antrópicos para evaluar la susceptibilidad del área en su integridad física, y su influencia en las vulnerabilidades social e infraestructural. Se relacionan, a continuación, los diferentes factores tenidos en cuenta para confeccionar la escala aplicada en la evaluación de la susceptibilidad del entorno (contexto) a los deslizamientos de tierra:

1. Drenaje superficial y subterráneo, sobre y a través del macizo rocoso.
2. Transformaciones en la topografía y el paisaje.
3. Proliferación de asentamientos humanos en la zona de depresión de avance de la elevación.
4. Existencia de fallas paralelas a las superficies deslizantes.
5. Constitución geológica representada por rocas sedimentarias: calizas y margas en la parte superior de la elevación y arcillas bentónicas en la base.
6. Buzamiento de los estratos a favor de las zonas deslizantes.
7. Pendientes mayores de siete grados, que pueden llegar a 45 grados o más en las laderas NW y W de la elevación.
8. Presencia de formas convexas en la estructura geomorfológica.



9. Escasa y débil vegetación herbácea o deforestación de la ladera por la acción antrópica.
10. Alturas mayores de 20 metros.
11. Manifestaciones de sismicidad natural local.
12. Fuertes y frecuentes vibraciones, inducidas por voladuras a cantera abierta, a distancias menores a 5 kilómetros, que producen inestabilidad en el macizo.
13. Presencia de cavernas, cuevas, embudos y otras formas de relieve cárstico.
14. Desarrollo marginal en el casco urbano, como parte del proceso migratorio interno y construcciones inapropiadas en las laderas de la elevación con carácter ilegal.
15. Obstrucción del drenaje natural por procesos de inversión del relieve.
16. Acción antrópica sobre el talud que incrementa la erosión de los suelos, como el cultivo sin terrazas

**Tabla No 16 Susceptibilidad del entorno**

Nivel de Vulnerabilidad	Factores presentes	Valor
Muy Alta	12 – 16	1.00
Alta	8 – 12	0.75
Moderada	4 – 8	0.50
Baja	0 – 4	0.25

Luego de ser evaluada la susceptibilidad del entorno, como resultado del análisis de los elementos desestabilizadores que actúan sobre el medio natural, se procedió a relacionar la misma, con el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio, considerando a la manzana, como Unidad Básica de Información Territorial (UBIT). Para ello se realizó un inventario del estado técnico constructivo de la vivienda, en las zonas deslizantes (1 y 2), aplicándose la clasificación en tipologías constructivas del IPF (2003). Se estimó también la población total residente, sobre la base del número promedio de habitantes por vivienda.

**Tabla No 17 Resumen de la Vulnerabilidad en la Zona No. 1**

Cantidad de manzanas Inventariadas	% de viviendas	% de población	Grado de Vulnerabilidad
1	3.4	4.4	MUY ALTA
3	11.2	11.8	ALTA
7	33.2	35.5	MODERADA
15	52.2	48.3	BAJA

Como se muestra en la **Tabla 17**, en la Zona No. 1, de un total de 26 manzanas inventariadas, 11 se encuentran en áreas, desde muy vulnerables hasta moderadamente vulnerables. Esto equivale al 47.8% de las viviendas y al 51.7 % de la población.

En las áreas con vulnerabilidad baja, se ubica el resto de las manzanas, con el 52.2% de las viviendas y el 48% del total de la población respectivamente. No obstante, se debe señalar que estas áreas, de acuerdo con la escala anterior, son también susceptibles a los fenómenos deslizantes.

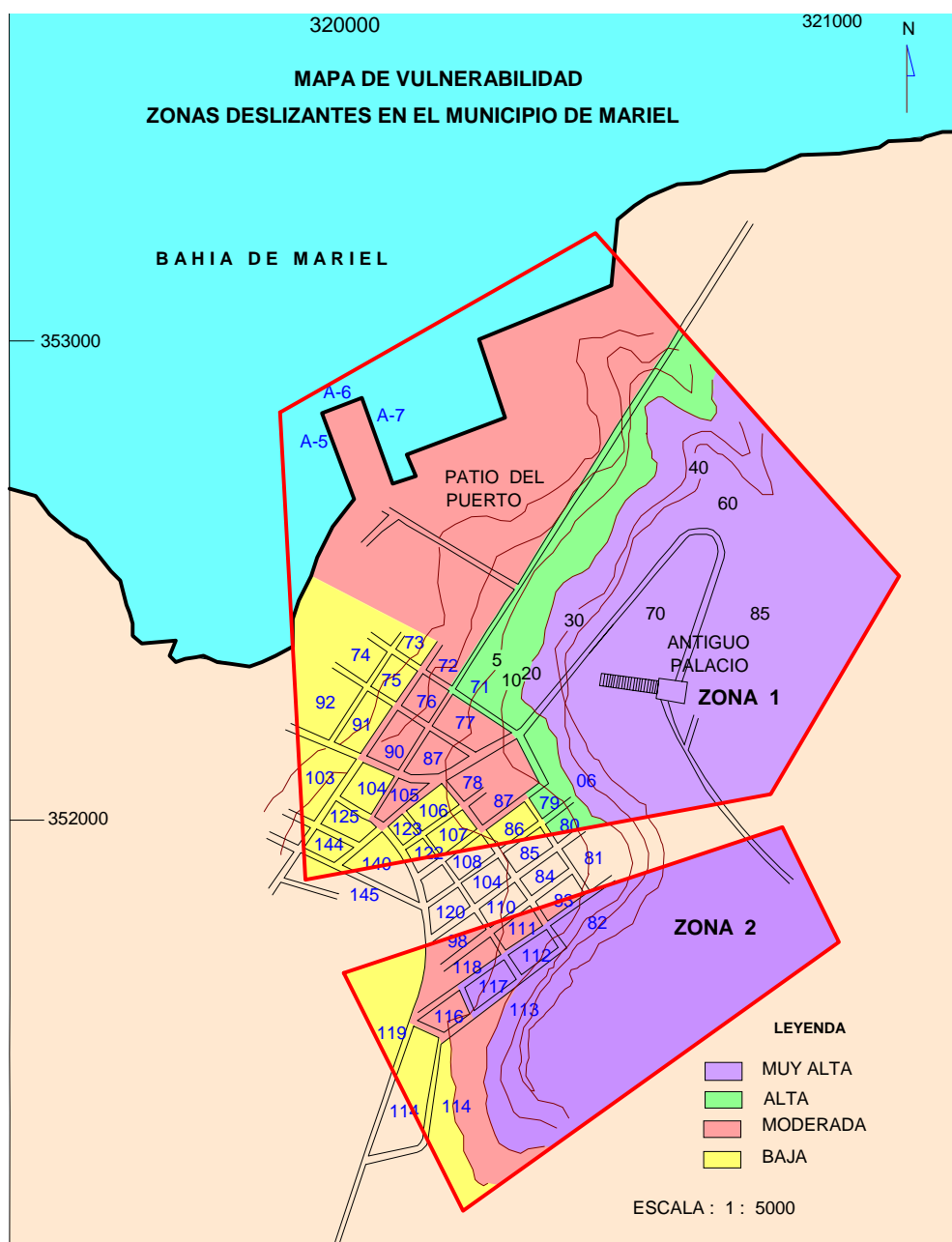
Cant. de manzanas Inventariadas	% de viviendas	% de población	Grado de Vulnerabilidad
4	47.4	47.4	MUY ALTA
3	30.5	30.4	MODERADA
2	22.1	22.2	BAJA

**Tabla 18 Resumen de la Vulnerabilidad en la Zona No. 2**



En la **Tabla 18** correspondiente a la zona No. 2, se aprecia que existe un total de 9 manzanas, 7 de ellas ubicadas en zonas de vulnerabilidades Muy Alta y Moderada, que representan el 77.9% de las viviendas y de la población expuesta. Esta zona, a pesar de poseer menor extensión y actividad, resulta de gran interés, por su susceptibilidad física-integral y desarrollo urbano experimentado al pie de la elevación, con peligro para la vida las personas.

A continuación se presenta el Mapa de Vulnerabilidad de las Zonas No.1 y No.2, donde se representa cartográficamente la información contenida en las tablas anteriores (**Fig. 6**).



**Figura 6**



## Conclusiones

- Los deslizamientos de tierra que tienen lugar en la Meseta de Mariel, constituyen procesos de carácter hidrogeológico-geomorfológico (**solifluxión**). La acción antrópica, causante de la degradación del medio ambiente, ha sido determinante en estos procesos.
- Existen dos zonas con manifestaciones actuales de los procesos deslizantes: Zonas I y II. La primera es más activa y consta de dos vectores de deslizamiento (A y B). En la segunda zona, menos activa, se identifican tres vectores de deslizamiento (C, D y E).
- El principal fenómeno disparador de los deslizamientos en Mariel son las precipitaciones atmosféricas. La posibilidad de ocurrencia de deslizamientos someros producto de un sismo fuerte en la Falla Pinar es factible. La existencia de deslizamientos antiguos (paleodeslizamientos), debido a estos fenómenos deberá ser objeto de investigaciones futuras.
- Un factor variable, que actúa negativamente sobre la integridad del macizo rocoso, y puede ser el responsable de los derrumbes o caídas de bloques en Mariel, son las vibraciones producidas por las explosiones, por la frecuencia relativamente alta de las mismas.
- Los estimados puntuales del peligro sísmico, para la zona de estudio, dan como resultado intensidades entre IV y IX grados, para periodos de recurrencia entre 10 y 100 000 años y aceleraciones entre 4 % g y 40 % g (donde **g** es la aceleración de la gravedad), para periodos de recurrencia entre 10 y 100 000 años respectivamente.
- Como grado base de intensidad, se puede considerar el valor de VI grados MSK y 73,5 cm/seg<sup>2</sup> a partir de los estimados obtenidos por métodos probabilísticos para T=475 años, que equivale al valor de intensidad (o aceleración pico horizontal), que podrá ser igualado o excedido para una probabilidad del 90%, en un periodo de vida útil de las construcciones de 50 años.
- La vulnerabilidad global del municipio de Mariel es alta, debido fundamentalmente a la presencia e incidencia de factores ambientales, físicos y sociales. El medio ambiente se encuentra muy degradado por la acción antrópica y de los fenómenos naturales que afectan e impactan de forma negativa al territorio.
- Existe una alta vulnerabilidad a los deslizamientos de tierra, que constituye el fenómeno más recurrente e importante que afecta al municipio y en particular, a la cabecera municipal. Estos fenómenos han ocasionado pérdidas materiales acumulativas más importantes que el resto de los fenómenos naturales que afectan al mismo.
- La vulnerabilidad y el riesgo de la vivienda e instalaciones, a los sismos de moderada intensidad, no es despreciable, si se toma en cuenta el deterioro del medio construido y de las redes técnicas y otras obras de la infraestructura, especialmente en los mayores asentamientos urbanos.

## Referencias Bibliográficas

- Álvarez, L. (1995): SACUDIDA, versión 2.0: Un programa para la estimación de la peligrosidad sísmica. La Habana, Editorial Academia, 64 p.
- Álvarez, L.; Chuy, T.; Cotilla, M. (1991): Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional. Revista Geofísica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Vol. 35, pp. 125-150.
- Architectural Institute of Japan (1993): Earthquake Motion and Ground Conditions
- Berardi, R.; L.; Magri, M.; Mucciarelli, C.; Petrongaro and L. Zanetti (1994). Mappe di sismicità per l'area italiana, ENEL, Roma, 60 pp.
- Blake, A. (1941): On the estimation of focal depth from macroseismic data, Bull. Seism. Soc. Am. 31, pp. 225-231.
- Chleborad, A. F. (2000): Preliminary Method for Anticipating the occurrence of precipitation induced landslides in Seattle, Washington. Open File Report 00 469 USGS.
- Chuy, T.; Álvarez, L.; Zapata J. y González, B. (1992): Investigaciones sismológicas complejas para el Complejo Hidroenergético Toa-Duaba. Informe, Fondos del CENAI.
- Chuy, T.; Álvarez, L. (1995): Peligrosidad sísmica de Cuba con fines de la norma sismorresistente cubana. X Foro de Ciencia y Técnica, La Habana, Diciembre de 1995, 21 p.



- Colectivo de Autores (2002): Manual de Manejo de Peligros para el desarrollo Regional Integrado. OEA. Washington D.C.
- Cornell, C. A. (1968): Engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am. 58, 1583–1606.
- Crovelli, R. A. (2000): Probability models for estimation of number and cost of landslides. Open File Report 00 249 USGS.
- De Albear, J. F. y Formel, F. (1979): Deslizamientos de tierra en el Mariel, Informe Técnico. Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Díaz, J. L.; Pérez, W.; Serrano, M.; Fernández, E. y De Albear, J. F. (1982): Informe Preliminar sobre los deslizamientos ocurridos en el Mariel. Archivos Instituto de Geografía Tropical
- Díaz, J. L. (1986): Morfoestructuras de Cuba Occidental y su Relación con la Geodinámica Reciente. Tesis en Opción del grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de la URSS, Moscú. 237 pp.
- EMNDC (2001): Normas para Proyección y Ejecución de las Medidas Técnico-Ingenieras de Defensa Civil.
- Fernández, M. A. (1996): Ciudades en Riesgo: Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y Desastres en América Latina. USAID
- García, J. A. (2001): Seismic hazard assessment for Cuba and the surrounding areas, Research Report, ICTP, Trieste, Italy, 80 pp.
- García, J. A. et al (2002): Mapa de Riesgo Sísmico de la ciudad de Santiago de Cuba. Informe Final de Proyecto.
- GEOHAZARDS INTERNATIONAL PUBLICATION (1994): The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project
- González, B. E. et al (1993): Estudio sismológico regional complejo de Cuba centro oriental para el emplazamiento de objetivos nucleares. Informe Científico-Técnico. Archivo del CENAI
- Grandori, G.; Perotti, F. and Tagliani, A. (1987). On the attenuation of macroseismic intensity with epicentral distance, in Ground Motion and Engineering Seismology, A. S. Cakmak (Editor), Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 581-594.
- Keefer, D.K. and Wilson, R.C. (1989): Predicting Earthquake-Induced Landslides with Emphasis on Arid and Semiarid Environments, Publications of the Inland Geological Society, Vol. 2, pp. 118-149.
- Key David (1995): Structures to Withstand Disasters Institution of Civil Engineers. Thomas Terford Publications. London.
- Kovesligethy, von R. (1907): Seismischer Stärkegrad und Intensität der Beben, Gerlands Beitr. Geophys. 8, 363-366.
- Lundgren, P. R. & Russo, R. M. (1996): Finite element modeling of crustal deformation in the North America-Caribbean plate boundary zone. Journal of Geophysical research, vol.101, No. B5, pp.11317-11327.
- Mann, P.; Burke, K. and Matsumoto, T. (1984): Neotectonics of Hispaniola: Plate motion, sedimentation, and seismicity at a restraining bend, Earth Planet. Sci. Lett., 70, 311-324, 1984.
- McGuire, R. K. (1976). Fortran computer program for seismic risk analysis, Open File report No. 76-67, U.S.G.S., Denver, Colorado, 92 pp.
- Meyerhoff, A. A. and Hatten, C. W. (1974): Bahamas salient of North America: tectonic framework, stratigraphy, and petroleum potential. Am. Assoc. Petr. Geol. Bull., 58 (6): 1201-1239. Tulsa, U.S.A.
- Orbera, L.; González, B. E.; Chuy, T. et al (1990): Investigación Sísmica en la región de emplazamiento del Centro de Investigaciones Nucleares. Vol. 1. Secretaria Ejecutiva para Asuntos Nucleares. La Habana, Cuba.
- Pacheco, S. E. y Lewis, A. (1998): Factores que originan los deslizamientos de tierra. Afectaciones en el Municipio de Mariel. Memorias del III Congreso Cubano de Geología y Minería. La Habana, Cuba.
- Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMFE (1993): Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. Published by The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 150.
- The Royal Academy of Engineering : Landslides Hazard Mitigation with particular reference to Developing countries (1993): Proceedings of a Conference hold on November 12, 1993 at the Royal Society at Carlton House Terrace. London



- Villagran, A. (2001): La naturaleza de los riesgos, un enfoque conceptual CIMDEN  
Yasuda, S. And Sugitani, T. (1988): Case Histories of Slope Failure during Past Earthquakes in Japan, Procc. of the 23<sup>th</sup> JSSMFE, pp. 891-892.  
Zilbert, L. (2001): Gestión Local del riesgo SNPMAP, PNUD, COSUDE





## PROCESSING SRTM DEM DATA FOR NATIONAL LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT

**Enrique Castellanos**

*Instituto de Geología y Paleontología, (IGP) Vía blanca y Carr. Central, San Miguel del Padrón, Cuba, CP11000, [enrique@igp.minbas.cu](mailto:enrique@igp.minbas.cu); [castellanos@itc.nl](mailto:castellanos@itc.nl)*

### RESUMEN

Este trabajo describe el procesamiento llevado a cabo durante la edición de los datos del SRTM para el Archipiélago Cubano, el análisis para producir los mapas derivados del Modelo de Elevación Digital (DEM) y la evaluación geomorfológica de amenaza de deslizamiento de terreno. Debido a que los datos primarios no están editados, se realizó un intenso trabajo para borrar/disminuir los numerosos vacíos y los puntos falsos tales como valores anómalos altos (picos) o bajos (hoyos). Esta calibración fue especialmente necesaria en los cuerpos de agua, en las áreas montañosas sombreadas y en las zonas costeras donde la señal de retorno del radar produce valores considerados como errores. El análisis y procesamiento fue realizado empleando técnicas espaciales en SIG y software de sensores remotos.

Las condiciones geomorfológicas es uno de los aspectos más importante en la ocurrencia de deslizamientos de terreno. La susceptibilidad geomorfológica del Archipiélago de Cuba fue realizada para posteriormente hacer una evaluación nacional de amenaza de deslizamiento de terreno. Para producir la susceptibilidad geomorfológica de deslizamiento de terreno fueron empleados los mapas derivados del DEM tales como: el ángulo de la pendiente y el relieve interno (disección vertical). La combinación de estos mapas muestra las áreas donde los deslizamientos de terreno pueden ocurrir con mayor posibilidad pues los factores geomorfológicos tienen los valores más altos. Como se esperaba, estas áreas tienen coincidencia con los sistemas montañosos en Cuba. Empleando este análisis, estas áreas pudieron ser comparadas a nivel nacional y se encontraron los detalles de las zonas más susceptibles en cada sistema montañoso.

### ABSTRACT

This paper describes the processes carried out during the editing of SRTM data for the Cuban Archipelago: the analysis for producing Digital Elevation Model (DEM) derivative maps; and a geomorphometric landslide hazard assessment at national level. As the base data is unedited, intensive work was done to remove/diminish the numerous voids and other spurious points such as anomalously high (spike) or low (well) values. Calibration was especially necessary in the water bodies, shaded mountains areas and in coastal zones where radar backscatter signal produce values considered erroneous. The processing and analysis was achieved through the utilization of GIS spatial techniques and remote sensing processing software.

Geomorphometric conditions are one of the most important aspects in producing landslides. In order to make a national landslide hazard assessment the geomorphometric susceptibility of the Cuban Archipelago was produced. Slope angle and internal relief (vertical dissection) DEM derivative maps were used for producing the landslide geomorphometric susceptibility. The combination of these maps shows areas where landslides are most likely to occur; proportional to the level of the value assigned to the geomorphometric factors. As expected, areas prone to landslide coincide with the main mountain systems in Cuba. Using this analysis, these areas could be compared at the national level and details of more susceptible zones were found in each mountain system.

**Keywords:** SRTM, DEM, CUBA, LANDSLIDE, GEOMORPHOMETRY



## INTRODUCTION

Since the announcement of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) in 1998 (NASA-JPL, 1998a; NASA-JPL, 1998b) great expectations were increased within the scientific community for its numerous environmental applications. Antecedently the most frequently used global DEM was the Global Digital Elevation Model (GTOPO30). However this system was restricted by its numerous limitations such as the combination of different elevation data sources with different vertical errors and the spatial resolution of 30 arc-seconds. Although some research was carried out using this data (Miliareis and Argialas, 1999; Miliareis and Argialas, 2002), it presents constraints especially at the modeling stage.

The SRTM elevation data is the first ever opportunity for processing continuous and homogenous elevation data covering 80% of the Earth's land mass between 60°N and 57°S. It was produced with the synthetic aperture radar (SAR) interferometry technique. The digital elevation model (DEM) was produced at 1 and 3 arc-seconds spatial resolutions. The 3 arc-seconds DEM is available on Internet. Although some authors describe this data set as a high-quality DEM (See Rabus et al., 2003) problems like voids and unexpected negative values were found during its processing.

Digital Elevation Model has been utilized within the field of geomorphology for many years, within a diverse range of studies. However producing digital elevation data over large areas is a time consuming task which may be impossible for certain areas due to data availability and quality problems. Therefore many applications use relatively small areas or subsets of larger regions. Any assessment related to landslides requires that DEMs are utilized to create derivatives maps such as slope angle or internal relief. The use of SRTM elevation data appear as new opportunity for geomorphometric studies at national scale such as landslide susceptibility assessment countries like Cuba with an archipelago of 110,860 km<sup>2</sup>.

This paper describes the processing of SRTM data for Cuban Archipelago and as an example of its use, a national landslide geomorphometric susceptibility was carried out. The research is part of a larger project for national landslide risk assessment. During the processing a detailed description of the problems found in SRTM data and the solutions applied are explained. The new edited version of the DEM may be used for other geomorphometrics applications. High landslide geomorphometric susceptibility areas found within each mountain systems are described as well.

## MATERIALS AND METHODS

### The SRTM data and its quality

As a combined effort of EUA, German and Italian space agencies, on February 11<sup>th</sup>, 2000, the SRTM or Shuttle Radar Topography Mission took off for 11 days. Data collection instrumentation consisted of the Spaceborne Imaging Radar-C (SIR-C) hardware which was modified with a 60 meter long mast and additional antennae to form an interferometer. The flight was programmed to be within the Space Station into a 233-km orbit. The principle data retrieval technology is based upon the transmission of one radar signal and receiving the signal in two SAR instruments with a separation of the flight path called baseline B. Every single point imaged on the Earth's surface can be mapped from the images back into space by triangulation



(Rabus et al., 2003). The same methodology was used before by a single SAR instrument mounted in a satellite, which visited the same area twice with a time lag of about a month. However, errors were reported in the interferogram due to temporal and spatial variations in water vapor (Hanssen, 2001). The instrument collected interferometric data continuously for 222.4 hours, imaging 99.96% of the landmass at least one time, 94.59% at least twice and about 50% at least three or more times.

Data were mosaicked into approximately 15,000 one degree by one degree cells or tiles. Sample spacing for individual data points is either 1 arc-second (about 30 m) or averaged 3 arc-seconds (about 90 m), referred to as SRTM-1 and SRTM-3, respectively. Unedited SRTM-3 data are being released continent-by-continent through internet (<http://srtm.usgs.gov/> or <ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/A.Norte/>). The 3 arc-second data were generated in each case by 3x3 averaging of the 1 arc-second data – thus 9 samples were combined in each 3 arc-second data point. Since the primary error source in the elevation data has the characteristics of random noise, this reduces that error by roughly a factor of three. Each cell or tile is projected in geographic coordinates using the WGS84 EGM96 geoid. The elevation data is provided in meters as 16-bit signed integer data. Therefore the elevations can range from -32767 to 32767 meters. The voids – where there is not data – pixels are flagged with the value -32768, meaning that they are out of range or undefined by certain systems.

There are some studies about SRTM data quality (Koch and Heipke, 2000; Koch and Lohmann, 2000; Rabus et al., 2003; Sun et al., 2003) with different horizontal and vertical accuracy results. The horizontal accuracy has been recognized to be lower than  $\pm 20$  m as a requirement for the 90% of the data. The DEM vertical accuracy requirements are  $\pm 16$  m absolute and  $\pm 6$  m relative vertical accuracy. The relative accuracy describes the error in a local 200-km scale while the absolute value stands for the error budget throughout the entire mission. The precision shall be valid for 90% of the data, i.e. the error represents about 1.6 S.D (Rabus et al., 2003). Both requirements were met after processing the data with  $\pm 10$  m and  $\pm 5.86$  m for absolute and relative vertical accuracy respectively. Despite these achievements, the error was found higher on vegetated areas due to the tree canopy. However, the positive bias that this produces may be estimated if the vegetation structure information is available (Sun et al., 2003).

Since the data was delivered for download without final edition, problems associated to voids and negative values were found in almost all tiles belonging to Cuban Archipelago. Processing will need to be carried out prior to the data being used for any application in Cuba.

### **Processing SRTM for Cuba**

The processing of the SRTM data has three major steps: mosaicking the tiles, masking the land areas and removing the voids and negative values. Mosaicking is the process of joining georeferenced images together to form a larger image or a set of images (Leica Geosystems, 2003). The Cuban Archipelago is covered by 33 files of SRTM-3 data with 1201 x 1201 pixels. Each tile was imported in ERDAS IMAGINE 8.7 and the projection WGS84 and pixel size 0.0008333 parameters were setup. The mosaic has 6002 rows by 13202 columns (Figure 1).

The initial statistics show the minimum value is -120 m: which clearly an error. On the other hand 1.40% of the pixels were voids or undefined values including those on land and the sea. However, the maximum value was 1970 m, which is only 4 m less than the maximum height officially recognized in Cuba (Díaz et al., 1990). Since there are not any known inland areas



which have an altitude below the sea level, all the negative values inland were also converted into undefined values. For masking the land from the sea, a coastline digitalized from a Landsat TM mosaic at 30 m spatial resolution in WGS84 geoid was used (Reyes, 2004). After masking the land area, the undefined values obtained (including voids and negative pixels) were the 0.829 percentage of the Archipelago (114,444 pixels).



Figure 1. Mosaic with the originals SRTM 33 tiles for Cuban Archipelago. Coastline and 1 x 1 degree grid was added for better recognition.

The undefined values are generally produced by three main causes: shadows, water bodies and instrument noise. The water surface generally produces very low radar backscatter. Analyzing the voids in the Cuba Archipelago highlights the coincidence with these causes. Undefined values are located in small inland water bodies (mostly reservoirs or artificial lakes), lowland coastal areas (usually swamp or marsh zones) and steep slopes in mountain areas (certainly due to shadows). The undefined values are found to be located in a total of 13,916 quite isolated areas; where the largest area is 18.6 km<sup>2</sup>, but almost half of those areas (6,749) have only one pixel. Another interesting feature is that the negative values and voids do not appear together.

Different approaches are used for eliminating the undefined values due to voids in SRTM data. Most commonly used are: using another DEM (GTOPO30, local DEM), interpolation (using different surfaces), producing contour, interpolating and patching, resampling and patching, manually assigned and iterative filter (minimum, averaging).

Replacing voids using GTOPO30 was carried out, with not successful outcome. In lowland areas the results may be useful, but in highland areas sharp edges are observed between neighbour pixels of the original SRTM data. In order to remove the undefined values an iterative average filter was use. In this method the filter is applied as many times as needed to close the undefined areas. In this case 13 neighborhood averaging iterations were needed to complete the filling of inland areas. The Table I shows the iterations and reduction in the number of pixels. The drawback of this method is that the water bodies like lakes will have different values instead of one single water level value, as may be carried out using a minimum filter. However, in high and dissected land areas the iterative averaging solution provides good results for



geomorphometric applications. Figure 2 shows a comparative result of applying GTOPO30 and the iterative averaging. By comparing the two methods statistically, large differences were found with 89 % of the undefined pixels have different value. The differences range from -236 up to 297 m. This highlight how sensitive is the application of one method by the other.

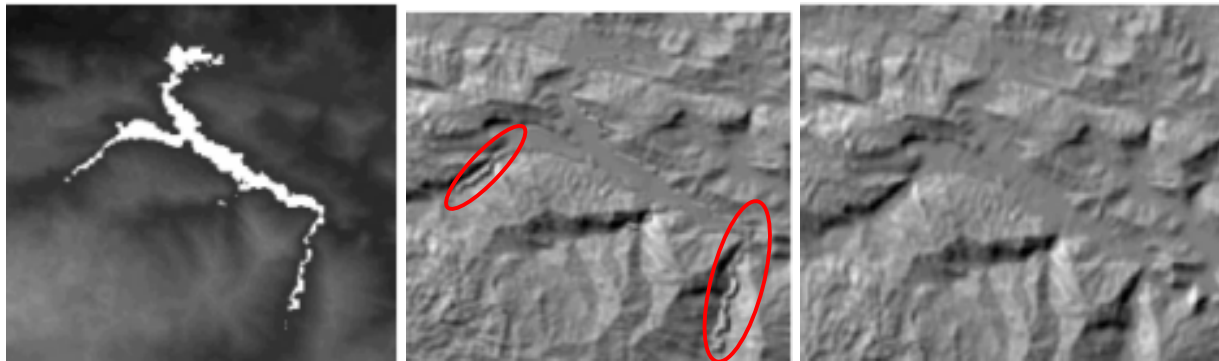


Figure 2. Voids pixels in Hanabanilla Lake of Guamuhaya mountain massif (on the left). Comparison between GTOPO30 patched (on the center) and iterative averaging method (on the right).

Iteration	Pixels with voids	Percentage
0	114444	100.00
1	32335	28.25
2	15067	13.17
3	8486	7.41
4	5364	4.69
5	3727	3.26
6	2785	2.43
7	2229	1.95
8	1870	1.63
9	1607	1.40
10	1420	1.24
11	1316	1.15
12	1241	1.08
13	0	0.00

Table I. Iterations for removing the undefined values.

## RESULTS

Once the undefined values were removed the final SRTM DEM was used to produce a hypsometric shaded relief map in WGS84 projection at 1:1,000,000 scale (Figure 3). The map was produced using ArcGIS 9. The hypsometric limits were defined by Reyes (2004) based on the histogram changes in the elevation data. The results clearly identify the main mountain systems within Cuba where landslide are most likely to occur as will be shown later. It is also remarkable the relationship between the current relief and the previous geological processes.





That evidences are distinguished in the Paleogene volcanic arc in Sierra Maestra or the folded structure Pinar del Río.

### National landslide geomorphometric susceptibility

Among the factors involved in landslide phenomenon, the most important ones are recognized to be the geomorphometric factors; although in certain areas factors like geology or soil may play also important role. The slope angle is used in almost all landslide studies. Landslide hazard assessments can be viewed as the combination of intrinsic factors and triggering factors. The geomorphometric factors are essentially intrinsic factors unless the slope angle is changed through human activities such as road construction. In order to demonstrate the use of STRM elevation data at national level, the landslide geomorphometric susceptibility analysis was carried out. Because only the geomorphometric (intrinsic) factors were used, the term susceptibility was applied in this study. This research is part of the a national landslide risk assessment research (Castellanos and Van Westen, (in press)) currently carried out in Cuba.



Figure 3. Hypsometric shaded relief map of the Cuba Archipelago using SRTM elevation data.

To facilitate the creation of a landslide susceptibility model two simple geomorphometric factors were used: the slope angle and the internal relief. The slope angle was calculated using ILWIS GIS methodology and an ArcGIS application. A comparison of both methods facilitated the selection of second one. ILWIS calculate the slope angle by calculating first the gradients in X and Y directions and later combining them (ITC, 2001). As a result a general slope angle value between the 8 neighbors is calculated using a quadratic surface.

Another slope angle calculation was processed using the methodology proposed by Hickey (Dunn and Hickey, 1998; Hickey, 2000; Van Remortel et al., 2001) in an "aml" application running over ArcGIS 9. The slope angle is actually calculated as part of RUSLE equation for soil erosion estimation, in conjunction with other factors like slope length. This method is the maximum downhill slope angle which constrains the slope angle calculations to one cell length (or 1.4 cell lengths in the diagonal) in a downhill direction.

It is recognized that there exist large differences between slope angle calculation methodologies (Dunn and Hickey, 1998; Guth, 1995; Skidmore, 1989). Comparing ILWIS and ArcGIS application slope angle methods over SRTM data, was obtained that only the 42 % of the area has equal values. Although this dissimilarity, 50 % of the differences achieved is 3 degrees o





less. The slope angle map selected for this study was the maximum downhill slope angle, as it represents the worst situation and not an “averaging” value as ILWIS use.

The slope angle map of the Cuban Archipelago, which was calculated using SRTM data at 90 m shows that 72.7 % of the area has a slope angle with 2 degrees or less, - which is a very flat terrain. The 0.68 % of the area is 30 or more degrees and is located in the main mountain systems. As a result of the reduced percentage of high slope angle areas, this simple technique helps to identify landslide prone areas even within the main mountain systems (Figure 6).

The internal relief is defined as the height difference per square kilometer or per hectare. Due to the fact that SRTM has a spatial resolution of 3 arc seconds which is about 90 m, a window of 11 x 11 pixels (0.9801 km<sup>2</sup>) was selected for calculating the internal relief. The internal relief map calculated shows that there are 163.5 km<sup>2</sup> in Cuba with 500 m/km<sup>2</sup> or more and the maximum value is 822 m/km<sup>2</sup>. The area with higher concentration is also located in Sierra Maestra mountain system.

To facilitate the combination of both maps, the spatial multi-criteria evaluation module in ILWIS (ITC, 2001) was used, as displayed in diagram of Figure 4. The original maps were standardized by the maximum value methods and weighted by the ranking method.

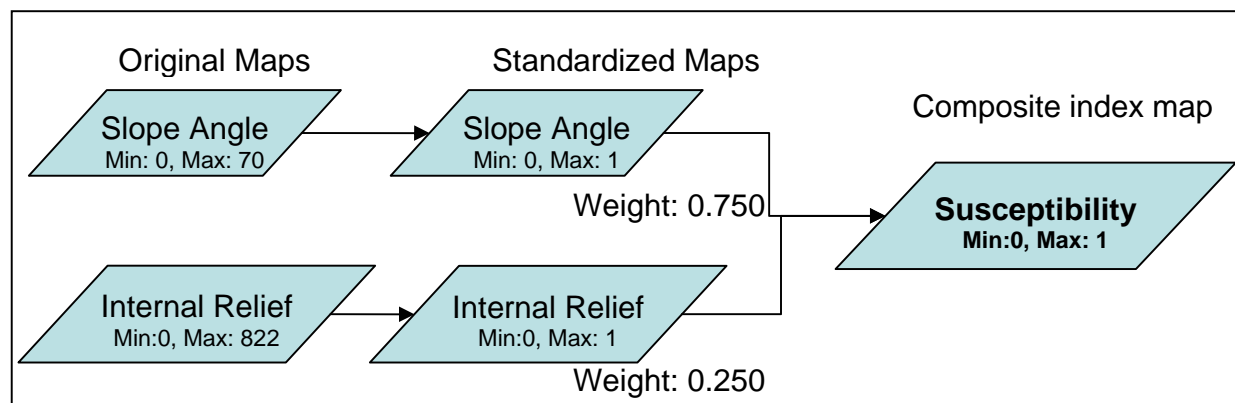


Figure 4. Spatial multicriteria evaluation model for landslide geomorphometric susceptibility.

The final map is shown in Figure 5. It is not possible to recognize the highest value areas due to the scale; but these areas are marked and numbered on the map. As it was expected these areas are coincidental with the main mountain systems in Cuba. A detailed description of these areas is given below (Figures 6 and 7).

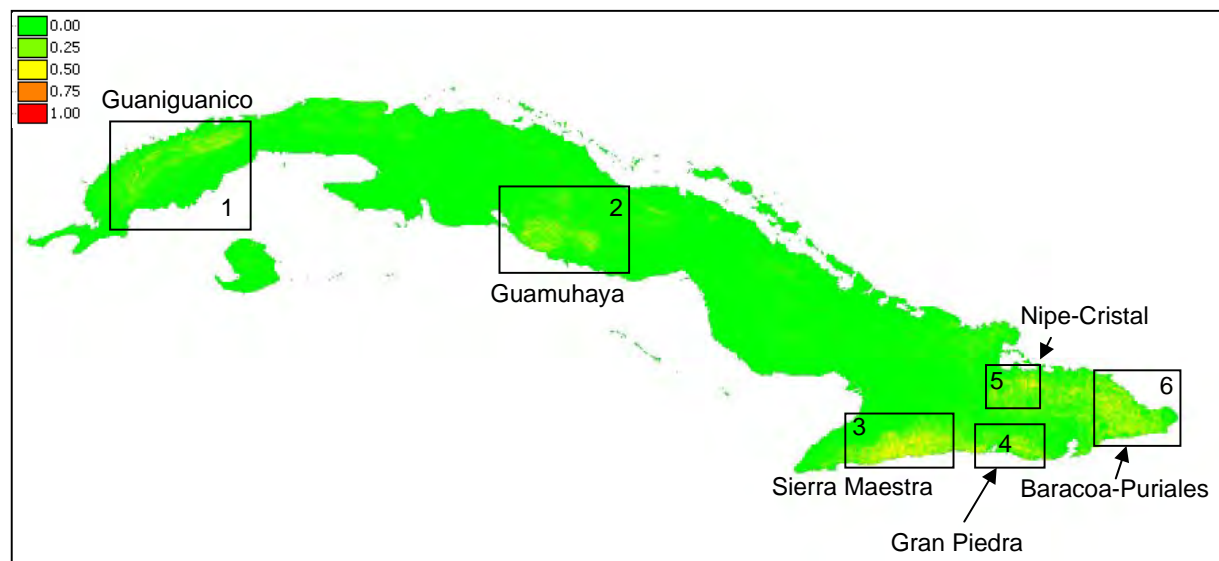


Figure 5. Landslide geomorphometric susceptibility map. Areas marked and numbered are shown in the next figures.



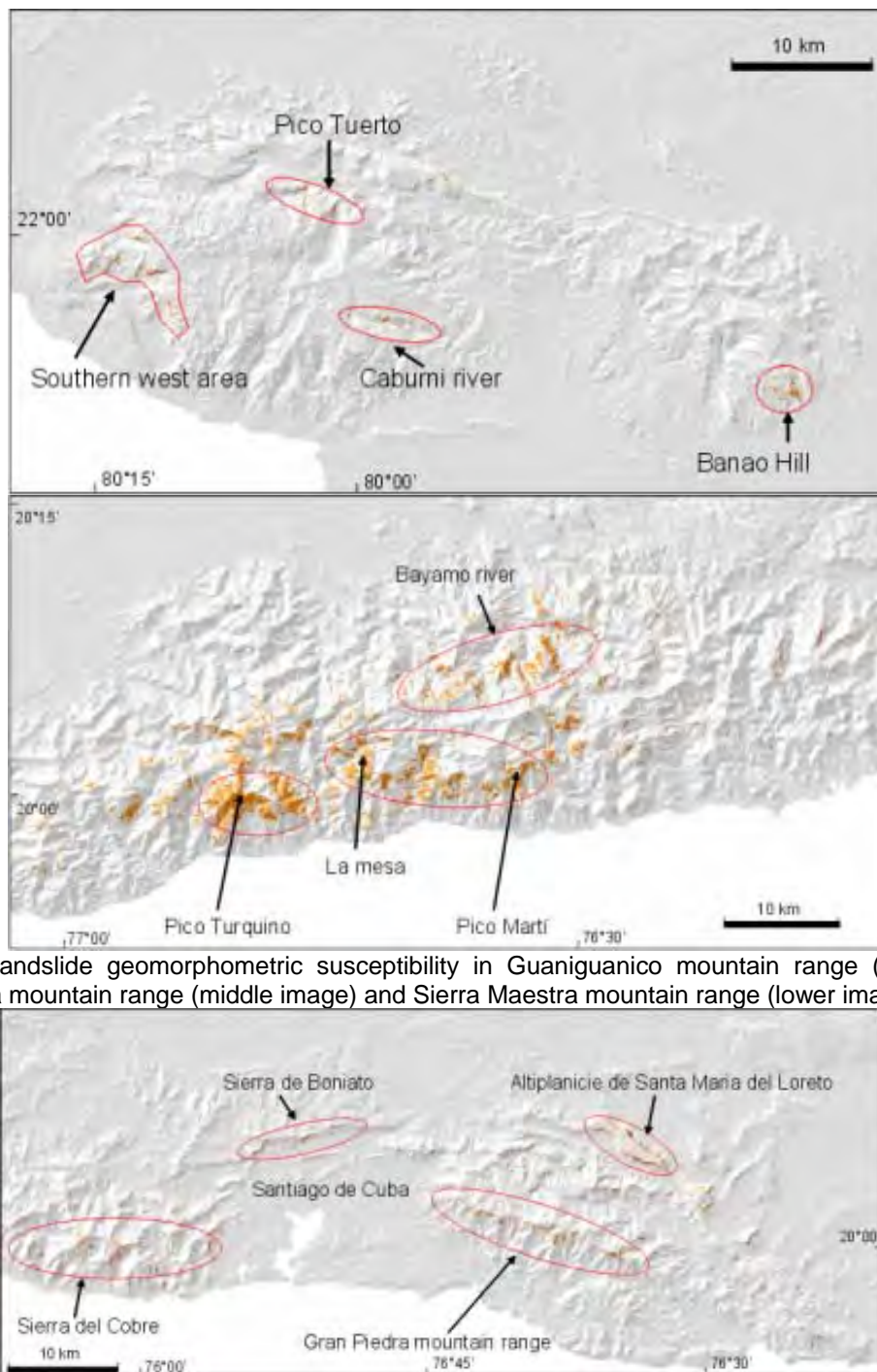


Figure 6. Landslide geomorphometric susceptibility in Guaniguanico mountain range (upper image), Guamuhaya mountain range (middle image) and Sierra Maestra mountain range (lower image).

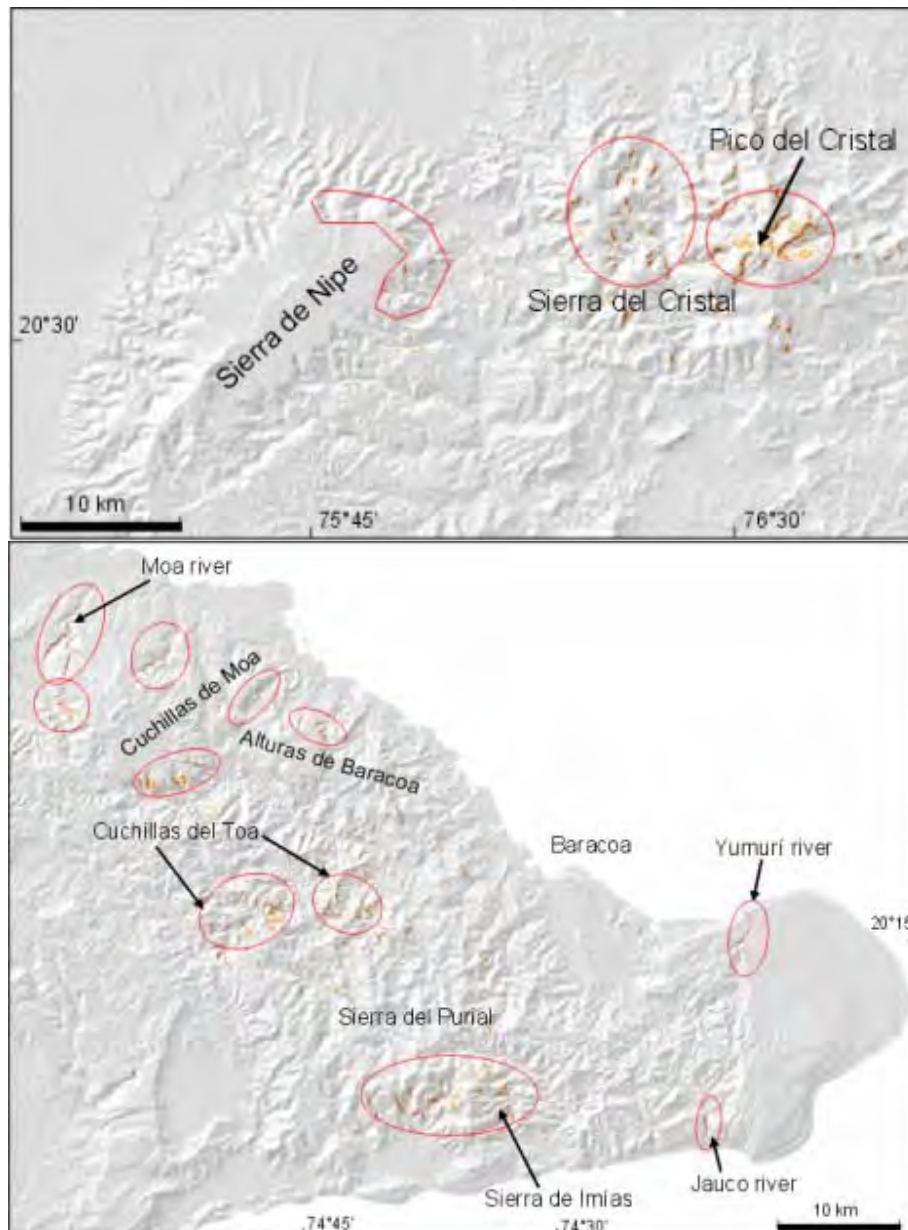


Figure 7. Landslide geomorphometric susceptibility in Santiago de Cuba area (upper image), Nipe-Cristal mountain system (middle image) and Baracoa-Purial area (lower image).

## DISCUSSION AND CONCLUSION

There are 172.5 km<sup>2</sup> dispersed over the Cuban mountain systems (Figure 6 and 7) with a landslide geomorphometric susceptibility higher than 0.5 in the model applied. In Guaniguanico mountain range (Figure 6 – upper image) the areas with larger size are located in Sierra de Galeras, Pico Grande and Pan de Guajaibón. Few points can be seen in the other zones. In the eastern part, where the relief is more dissected, only Santa Cruz River appears with high values.





In Guamuhaya mountain range (Figure 6 – middle image) four major areas have high values. The southern west area has the largest number of pixels, although, the Pico Tuerto zone may be the most risky since it is located in one of the Hanabanilla Lake sides (See Figure 2). Other points were found in the upper part of Caburni river basin as well as Banao Hill on the east.

Coinciding with slope angle and internal relief maps, Sierra Maestra mountain range has the highest values and largest area (Figure 6 – lower image). Within the mountain system the highest values are located in Pico Turquino (the highest elevation in Cuba) and its surroundings. Between La Mesa and Pico Martí the slopes facing to south also present high values. On the northern slopes the upper part of Bayamo River basin is highlighted in different places. In the eastern zone of Sierra Maestra it is observable some high value points in Sierra del Cobre (Figure 7 – upper image). Also the ridges present in Sierra de Boniato and Gran Piedra Mountain Range has high landslide susceptibility values from the geomorphometrical point of view (Figure 7 – upper image). The same feature is observable on the Santa María del Loreto plateau close to Guantánamo province.

The northeastern part of Cuba is also marked by areas with high susceptibility. The Figure 7 – the middle image - shows areas located in Sierra de Nipe y Sierra del Cristal which have high values. The lower image in this figure exhibits the areas with high landslide geomorphometric susceptibility located in the eastern corner of Cuba. In spite of the similar rock types it is still possible to discern a disparity in the rating to observe that high values are concentrated in certain parts like Sierra de Imías. Noticeably the high internal relief values of both, the Yumirí and Jauco rivers facilitate with high susceptibility rating.

The model applied allows the identification of areas inside the main mountain systems in Cuba: Sierra Maestra being the most significant region with high landslide geomorphometric susceptibility. The model will be improved by the combination and addition of other factors with perpetrate a landslide hazard, such as; geology, landuse, rainfall and earthquake occurrence. The inclusion of these extra components will ultimately reduce the uncertainty in locating landslide prone areas.

It was concluded that SRTM elevation data needs to be processed before its use for any geomorphometric application. Yet, many processing possibilities are available to improve the unedited data like making a selective filtering for type of geomorphometric features including lakes, coastal swamps and shadow in mountain areas. Once the SRTM data is ready to be used the number of possible applications is quite large and it shows high reliability at 90 m spatial resolution. It is important to always take into account the fact that this data type does not necessarily represent the actual elevation ground as may happen in forested or urbanized areas. Whilst in certain regions of Cuba there are local digital elevation models, the coverage is insufficient and as such this study provides for the first time the possibility to use SRTM elevation data at 90 m spatial resolution for the whole Cuban Archipelago.

## REFERENCES

- Castellanos, E. and Van Westen, C.J., (in press). Development of a system for landslide risk assessment for Cuba, Proceedings International Conference on Landslide Risk Management, May 31-Jun 3, 2005, Vancouver, Canada.
- Díaz, J.L., Magaz, A.R., Portela, A., Bouza, O. and Hernández, J., R., 1990. El relieve de Cuba. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 18: 33-44.



- Dunn, M. and Hickey, R., 1998. The Effect of Slope Algorithms on Slope Estimates within a GIS. *Cartography*, 27(1): 9-15.
- Guth, P.L., 1995. Slope and aspect calculations on gridded digital elevation models: Examples from a geomorphometric toolbox for personal computers. *Z. Geomorph. N.F.*, 101: 31-52.
- Hanssen, R., 2001. *Radar Interferometric: Data interpretation and Error Analysis*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Hickey, R., 2000. Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. *Cartography*, 29(1): 1-8.
- ITC, 2001. *ILWIS 3.0 Academic - User's Guide*. ITC, Enschede, Netherlands, 520 pp.
- Koch, A. and Heipke, C., 2000. Quality Assessment of Digital Surface Models derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). 3.
- Koch, A. and Lohmann, P., 2000. Quality assessment and validation of digital surface models derived from the shuttle radar topography mission (SRTM), IAPRS, Amsterdam, pp. 8.
- Leica Geosystems, 2003. *ERDAS Field Guide*. Seventh Edition. Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC, Atlanta, Georgia, 672 pp.
- Miliareisis, G.C. and Argialas, D.P., 1999. Segmentation of physiographic features from the global digital elevation model/GTOPO30. *Computer and Geosciences*, 25: 715-728.
- Miliareisis, G.C. and Argialas, D.P., 2002. Quantitative representation of mountain objects extracted from the global digital elevation model (GTOPO30). *International Journal of Remote Sensing*, 23(5): 949-964.
- NASA-JPL, 1998a. *Seeing Earth's Surface in 3D - Shuttle Radar Topography Mission*, NASA, Pasadena, California.
- NASA-JPL, 1998b. *Shuttle Radar Topography Mission*, NASA, Pasadena, California.
- Rabus, B., Eineder, M., Roth, A. and Bamler, R., 2003. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Photogrammetry & Remote Sensing*, 57: 241-262.
- Reyes, R., 2004. *Characterization of Cuban relief using SRTM data*. IFA Thesis, ITC, Enschede, 50 pp.
- Skidmore, A.K., 1989. A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from a gridded digital elevation model. *International Journal of Geographical Information Systems*, 3: 323-334.
- Sun, G., Ranson, K.J., Kharuk, V.I. and Kovacs, K., 2003. Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter. *Remote Sensing of Environment*, 88: 401-411.
- Van Remortel, R., Hamilton, M. and Hickey, R., 2001. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data. *Cartography*, 30(1): 27-35.





## PELIGROS, VULNERABILIDAD Y RIESGOS GEOLOGICOS, GEOFISICOS Y TECNOLOGICOS. CASO ESTUDIO EN EL MUNICIPIO PLAYA.

**Ida Ines Pedroso Herrera**<sup>(1)</sup>, Manuel Fundora, <sup>(1)</sup>Ismael González <sup>(1)</sup>, Yhoama González Jorge <sup>(1)</sup>, Mario Guerra <sup>(1)</sup>, Efrén Jaimez <sup>(1)</sup>, Silvestre Elier Pacheco <sup>(1)</sup>, Bertha Elena González Raynal <sup>(2)</sup> Luis David Pérez <sup>(2)</sup> Carlos Llanes <sup>(2)</sup>, Emigdo Suárez <sup>(2)</sup> y Liván Hernández <sup>(2)</sup>

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía/CITMA, (2) CENAIS-HABANA/CITMA, Cuba, (3) PREMIDES, ISPJAE/MES, Cuba.

Se presentan los resultados de la valoración de los Peligros, la Vulnerabilidad y los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos del municipio Playa partiendo de la caracterización del medio físico, el medio construido y el medio socio-económico del mismo. Para la valoración integral de los Peligros Geológicos, Geofísicos y Tecnológicos de este territorio se parte de la precisión de los Escenarios de Peligros, como aquellas zonas que por sus características geológicas, geofísicas, climáticas, geomorfológicas y edafológicas, entre otras, pueden ser afectadas por eventos geológicos y geofísicos, cuya intensidad y frecuencia de ocurrencia los convierte en peligrosos al ser capaces de generar situaciones de desestabilización y/o desastres entre la población y los medios natural y socio-económico construido, poniendo en peligro incluso la vida de los pobladores o causando pérdidas en la economía del territorio.

Para lograr este propósito se llevaron a cabo revisiones bibliográficas, hasta el año 2002, de informes y otras publicaciones de las principales instituciones que trabajan en la caracterización del medio ambiente natural y construido del país, como son: el Instituto de Meteorología, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, el Instituto de Oceanología, el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, el Instituto de Geología y Paleontología, el Instituto de Planificación Física. De considerable valor resultó el análisis de los documentos en Archivo de la Defensa Civil Nacional, Provincial y Municipal. Por otra parte se realizaron levantamientos de campo a lo largo de las principales corrientes hidrográficas del municipio, todo el litoral costero, y los diferentes Consejos Populares, las que incluyeron también visitas a zonas con antecedentes de fenómenos naturales peligrosos.

El análisis de estos datos y su elaboración utilizando diferentes procedimientos, permitió obtener información sobre las características de los elementos disparadores como los sismos, las lluvias intensas y los fuertes vientos, potenciales generadores de terremotos, deslizamientos, hundimientos, inundaciones y penetraciones del mar, lo que junto a los Escenarios de Peligros susceptibles de ser afectados por tales fenómenos naturales permitió resumir las características de los Peligros Geológicos y Geofísicos que están presentes en el territorio.

La evaluación de los datos del Instituto de Planificación Física, el levantamiento de áreas del territorio, permitieron evaluar las características de los bienes expuestos y fijar estimados de la vulnerabilidad de los mismos ante eventos de diferentes intensidades, lo que junto a los estimados de los costos de las viviendas de acuerdo con la tipología constructiva elaborados por el Instituto Nacional de la Vivienda, permitió calcular aproximadamente las pérdidas en valores o los Riesgos Físicos producto de la acción de estos fenómenos sobre los bienes expuestos.

El uso de los SIGs Mapinfo y Arc View, permitió obtener un conjunto de mapas que se agrupan en un Atlas de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos del Municipio Playa y un conjunto de tablas que pueden resultar útiles para los planificadores y decisores en la elaboración de los planes de desarrollo constructivo y de mantenimiento en el municipio así como para la elaboración de medidas de mitigación, que pueden ir desde campañas de educación ambiental para preparar a la comunidad ante eventos de estos tipos hasta la toma de medidas de movilización de la población.



## FENOMENOS NATURALES EN EL MUNICIPIO GUANTANAMO. VALORACION E IMPACTOS NEGATIVOS.

**Dr. Tomás J. Chuy Rodríguez** <sup>(1)</sup>, Lic. Guillermo Puente González <sup>(2)</sup>, Ing. Rolando Baza Pacho <sup>(3)</sup>, Ing. Jerónimo L. Seisdedos Caballero <sup>(1)</sup>, MSc. Carmen R. Reyes Pérez <sup>(1)</sup>, MSc. Zulima C. Rivera <sup>(1)</sup>, Ing. Oscar Borges Escandón <sup>(4)</sup>, Lic. Armanda Regal García <sup>(2)</sup>, Ing. Diosnel Sanloy Martínez <sup>(4)</sup>, Lic. Caridad Imbert Lamorú <sup>(2)</sup>, Ing. Teudys Limeres Jiménez <sup>(4)</sup>, Dr. José A. Zapata Balanqué <sup>(1)</sup>, MSc. Griselda Despaigne Longchamp <sup>(1)</sup>, Lic. Hector Velázquez Matos <sup>(3)</sup>, Tec. Yasmín Martel Rebollo <sup>(5)</sup>, Tec. Ider Iribar Esteban <sup>(5)</sup> y Lic. Marianela Cintra Arencibia <sup>(4)</sup>.

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

(2) Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba.

(3) Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo.

(4) Estación de Suelos de Guantánamo.

(5) Cuerpo de Bomberos de Guantánamo.

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17 No. 61, Reparto Vista Alegre, Santiago de Cuba, Cuba, CP 90400, E-mail: [chuy@cenais.ciges.inf.cu](mailto:chuy@cenais.ciges.inf.cu).

### RESUMEN.

En el municipio de Guantánamo se manifiestan cada año diferentes tipos de fenómenos naturales y antrópicos, que le causan frecuentemente cuantiosas afectaciones socioeconómicas. Como una contribución al planeamiento del desarrollo sostenible de este territorio, se presentan los resultados alcanzados en la caracterización, cronología y evaluación de los impactos negativos producidos por estos fenómenos, entre los que se cuentan a los sismos, deslizamientos de tierra, rotura de presas, respuesta dinámica de suelos, ciclones tropicales, tornados, lluvias intensas y ácidas, inundaciones, sequías, salinización, desertificación, degradación de suelos, incendios urbanos, incendios forestales y accidentes tecnológicos.

### ABSTRACT.

Every year the region of Guantánamo has been affected by different types of natural and antropics phenomena, that causing frequently considerable socioeconomic losses. As a contribution to the sustainable development planning of the territory, the results reached in the characterization, chronology and evaluation of the negative impacts of these ones in this territory are presented, among those are counted the earthquakes, landslides, break of dams, dynamical response of soils, tropical storms, tornados, intenses and acids rains, floods, droughts, saline soils, desertification, soils degradation, urban and forest fires and technological accidents.

### INTRODUCCION.

Los Fenómenos Naturales, como manifestación de los procesos que ocurren en nuestro Planeta, pueden transformarse en desastres en la medida en que no conozcamos adecuadamente la amenaza que constituyen para nosotros y la susceptibilidad que presenta cada entorno ante ellos.



La combinación de alto riesgo y vulnerabilidad ante fenómenos naturales, así como la limitada capacidad de las comunidades de la región de Guantánamo para prepararse, responder y recuperarse ante una situación de desastre, hizo que se planteara la necesidad imprescindible de caracterizar y valorar el impacto de éstos en sus manifestaciones extremas. En consecuencia, estos resultados se establecen como un elemento fundamental para la formulación de programas de prevención y mitigación a cualquier nivel, así como del planeamiento sostenible del territorio.

## TERREMOTOS.

La región de Guantánamo se localiza en el borde Sur de la región Oriental de Cuba (Zona Sismogénica Bartlett – Caimán u Oriente), que se destaca por la frecuencia con que ocurren en ella terremotos (CENAI, 2004) y los valores altos de magnitud e intensidad alcanzados históricamente. Esta zona es capaz de producir terremotos de Magnitud hasta de 7.6 Richter en el sector que está al Sur de la provincia Guantánamo (Chuy, 2000).

Otro elemento de peligro sísmico lo constituye la ubicación en ese territorio de otras Zonas Sismogénicas de Baja Actividad (de menor orden o categoría), aunque de los sismos fuertes cubanos tienen una connotación particular los terremotos fuertes ocurridos en Santiago de Cuba (Chuy, 1999). Con la ocurrencia de estos últimos, siempre se reporta en la ciudad de Guantánamo un orden menor de intensidad y debemos significar que en los años 1766 y 1852 ocurrieron con Intensidad I = 9.0 MSK en Santiago de Cuba (Chuy, 2003).

Sobre la base del conocimiento alcanzado en ese territorio, se realizaron estimados de peligrosidad sísmica para una probabilidad del 15 % de ocurrencia y 50 años de vida útil según requerimientos de NC 46:1999, de las principales comunidades del municipio Guantánamo (**Tabla I**). Así también, se modelaron los potenciales efectos en forma de espectros de respuesta de los terremotos esperados en diferentes zonas sismogénicas sobre 12 comunidades del municipio Guantánamo. En la **Figura 1** se presenta el caso de la zona Oriente 1 sobre la ciudad de Guantánamo.

**Tabla I. Valores puntuales de peligrosidad sísmica para las 12 principales comunidades del municipio Guantánamo.**

LOCALIDAD	Lat. N	Lon. W	Intensidad MSK	Aceleración horizontal	
				% g	cm/s <sup>2</sup>
Guantánamo	20.14	75.21	8.5	23.0	225.40
Jamaica	20.19	75.14	8.0	22.8	223.44
CAI Paraguay	20.05	75.14	8.5	32.0	313.60
CAI Honduras	20.21	75.13	8.5	25.0	245.00
CAI Argeo Martínez	20.20	75.18	8.0	22.0	215.60
Santa Catalina	20.42	75.18	8.0	18.0	176.40
La Tagua	20.35	75.16	8.0	21.0	205.80
Alto el Mango	20.30	75.14	8.0	22.0	215.60
Casimba Abajo	20.22	75.13	8.0	21.5	210.70
Jorge Prieto (Cecilia)	20.14	75.14	8.5	23.5	230.30
La Jabilla	20.05	75.23	8.5	29.0	284.20
Maqueycito	20.07	75.07	8.5	24.5	240.10



## HURACANES.

Se seleccionaron todos los ciclones tropicales (**Figura 2**) que han pasado desde el año 1900 hasta el 2000 por el sector comprendido entre los 18.5 - 21.0 grados de Latitud Norte y los 73.0 - 77.0 grados de Longitud Oeste (CMPG y CMPSC, 2004; MeteoFrance, 1998). Dentro de esta región aparecen los vientos máximos que se reportan en el ciclón y que definen su categoría. Sin embargo, las afectaciones de un ciclón no son sólo debido a la fuerza de los vientos, sino que también incluyen las intensas lluvias asociadas, que dependen de la amplitud del patrón nuboso que puede ser muy extenso. En Cuba tenemos los efectos recientes de los

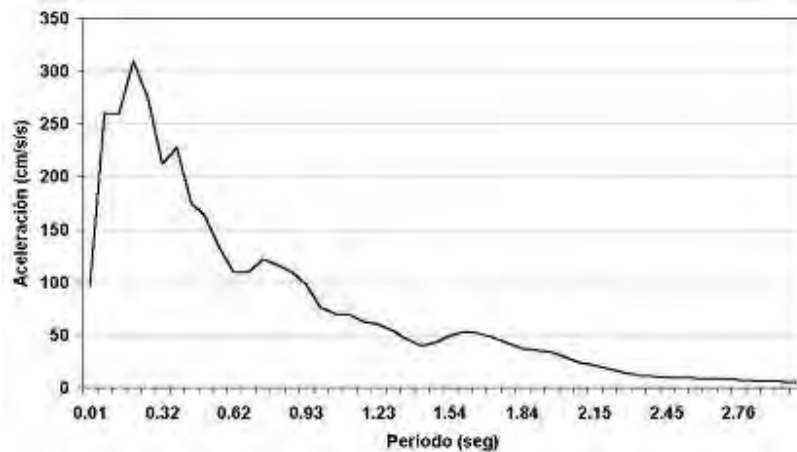


Figura 3. Espectro de respuesta para la ciudad de Guantánamo utilizando el terremoto esperado de  $M = 6.9$  en la Zona Sismogénica Oriente 1.

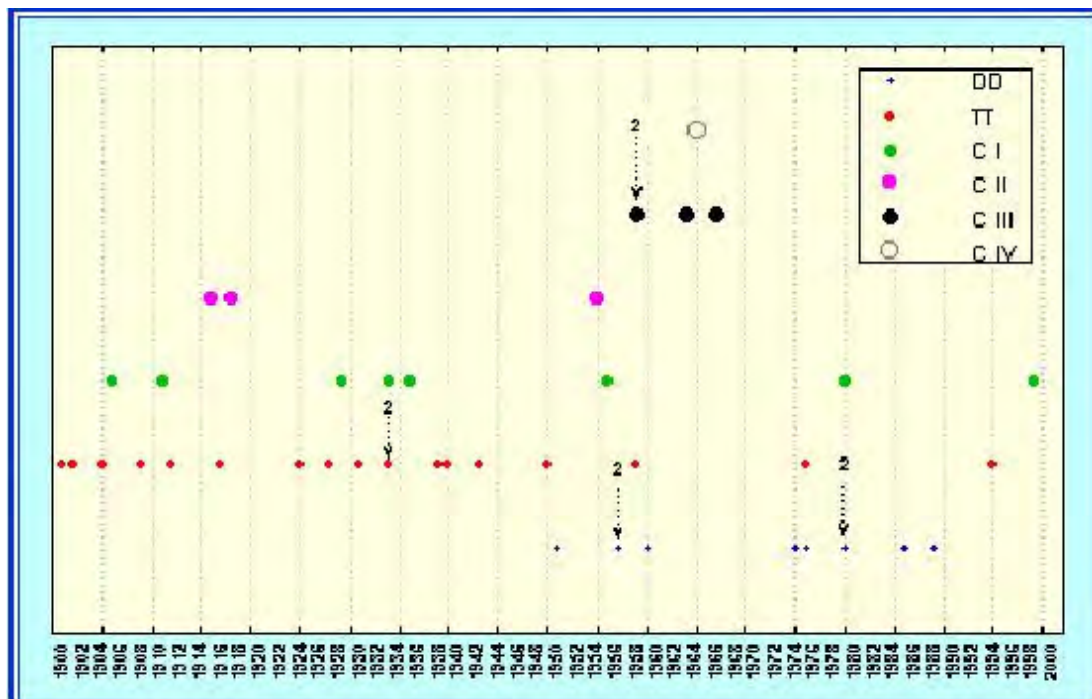


Figura 2. Cronología de los ciclones tropicales en la región de Guantánamo 1900 - 2000. Los colores y tamaño de los círculos indican su clasificación: Depresión Tropical en azul,



**Tormenta Tropical en marrón, Huracán categoría I en verde, Huracán categoría II en lila, Huracán categoría III en negro y Huracán categoría IV en amarillo. Período 1900 – 2000.**

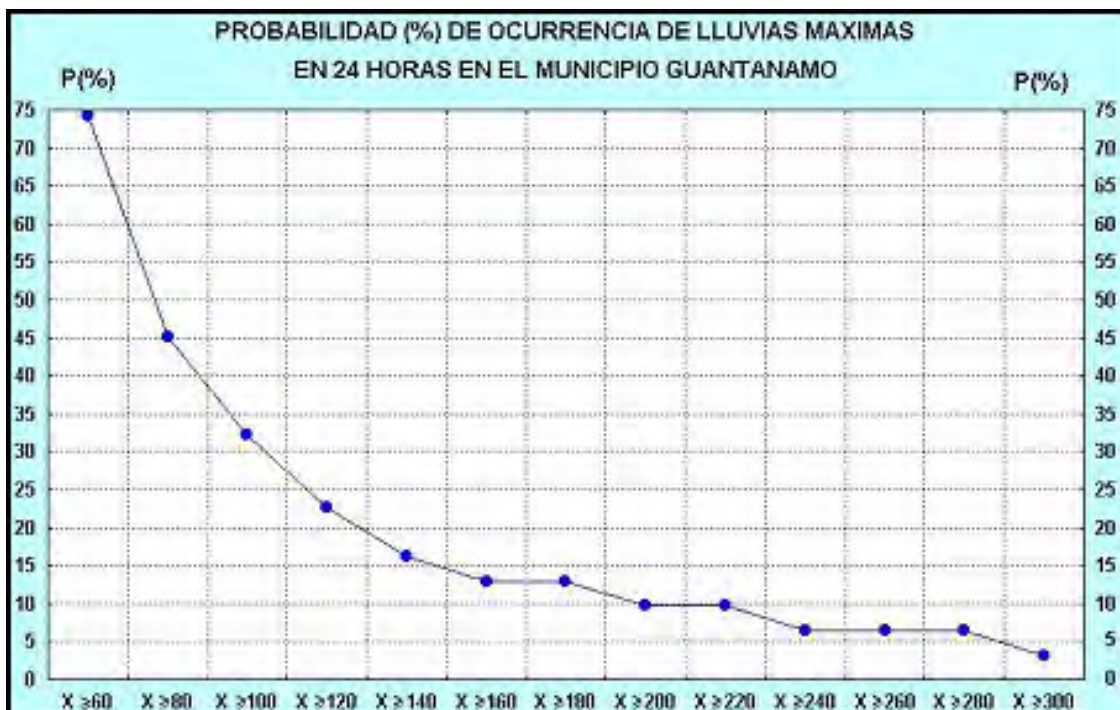
ciclones Michelle (2001), Isidore y Lili (2002), cuyas lluvias intensas afectaron en su momento a la región de Guantánamo por la amplitud de su patrón nuboso, a pesar de que su centro estaba a cientos de kilómetros.

En consecuencia, en el municipio de Guantánamo, las medidas contra ciclones tropicales deben recordarse y reforzarse en los meses de Agosto, Septiembre y Octubre, que son los meses donde la frecuencia es más intensa (80 % del total aproximadamente). En relación con la velocidad de los vientos, desde 1900 hasta la fecha, el 65 % de los ciclones tropicales han sido de velocidades lentas a normales (menos de 26 Kph), predominando estos últimos, lo que incide en el nivel de riesgo de estos eventos para el territorio.

### LLUVIAS INTENSAS EN 24 HORAS.

En Guantánamo, la ocurrencia de lluvias extremas es más común durante la primavera, esto es, en los meses de marzo hasta mayo, con una tendencia a ser abril el mes principal, y en pleno otoño durante el mes de noviembre, más que durante otra época del año. Esto se refleja en la estadística obtenida de la distribución mensual de lluvias para el periodo de 1971 al 2001 en la estación meteorológica de Guantánamo (CMPG, 2004).

En la **Figura 3** se presenta el gráficos de Probabilidad de Ocurrencias de Lluvias mayores que determinado valor, o los equivalentes de período de retorno de lluvias superiores a un valor dado. Estos gráficos son muy útiles para la toma de decisiones, planificación de actividades de diversas índoles, entre otras acciones. Se observa en la figura que para probabilidades de ocurrencias del 20 %, 10 % y 5 %, los valores de las lluvias extremas o máximas en 24 horas son del orden de 130 mm, 200 mm y 290 mm respectivamente.







**Figura 3. Probabilidad de ocurrencia de lluvias extremas en el municipio Guantánamo. Período observado: 1971 – 2001.**

Debemos señalar que estas lluvias, están vinculadas por lo general a ciclones tropicales o a frentes fríos estacionarios sobre el área asociados a bajas u hondonadas, que traen consigo abundantes lluvias. El cúmulo principal de las lluvias extremas ocurre frecuentemente entre 2 y 4 horas, asociado a lluvias provenientes de nubes de desarrollo vertical, por lo que puede provocar un rápido aumento en el nivel del cauce de los ríos y las consiguientes afectaciones.

## **INUNDACIONES.**

La ciudad de Guantánamo está atravesada por los ríos Guaso al Este y el río Jaibo al Oeste. Esta situación geográfica la ha expuesto frecuentemente a inundaciones, que han sido de mayores consecuencias por haberse permitido la construcción de viviendas en lugares aledaños a los cauces de éstos, dejando a gran parte de la población expuesta a los impactos de las llamadas “inundaciones relámpago”.

Esta ciudad ha sido sorprendida en varias oportunidades, incluso en plena madrugada, por el agua y como es lógico, en ocasiones no ha habido tiempo para realizar una rápida evacuación, trayendo como consecuencia la pérdida de vidas humanas y muchos daños socioeconómicos. Ejemplos de esto, fueron las lluvias extremas y la tormenta tropical, ocurridas en mayo y noviembre de los años 1993 y 1994.

## **ROTURA DE PRESAS.**

Los embalses Jaibo y La Esperanza (Faustino Pérez) regulan las aguas, aguas arriba de la ciudad de Guantánamo, protegiéndola de grandes inundaciones. No obstante, en ciudades localizadas aguas abajo de embalses importantes, siempre está latente la probabilidad de que se puedan sobrepasar las características de seguridad para los que fueron construidos y en consecuencia, producirse una rotura y ocasionar un desastre.

La rotura eventual de una presa de tierra, como la Jaibo (120 millones de m<sup>3</sup>) o La Esperanza (26 millones de m<sup>3</sup>), puede ser producida por múltiples factores, entre los que podemos mencionar:

- Que se produzca un terremoto de gran intensidad que sobrepase la intensidad y aceleración sísmica de diseño de la presa.
- Que se produzca una avenida mayor que la de diseño de la presa.
- Que el estado de la presa no sea óptimo en el momento de producirse avenidas por el paso de un fenómeno atmosférico extremo.

Al destruirse una presa total o parcialmente, se forma aguas abajo una ola frontal que se extiende por el cauce del río con gran velocidad, inundando el territorio situado en el valle y terrazas de éste, pudiendo causar grandes daños a la agricultura, industrias y población. En la **Figura 4** se presenta el esquema calculado mediante los métodos propuestos por Fernández y Maximova (1984) y Fuentes y Franco (1997) de las zonas de inundación en la ciudad de Guantánamo para el caso de un 25 % de rotura de las cortinas de las presas.

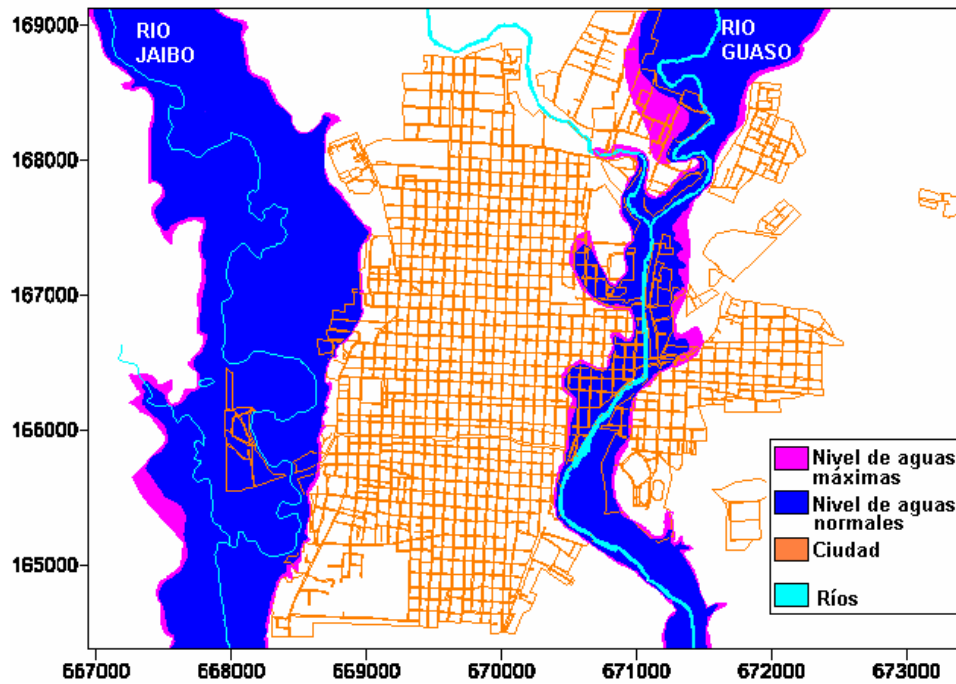
## **DESLIZAMIENTOS.**

Los procesos geodinámicos influyen en gran medida en la estabilidad de los macizos, en la acumulación de tensiones que se traducen en deformaciones y rupturas del equilibrio del macizo rocoso o de suelo, que puede ser de forma gradual o de forma rápida, cuando ocurre un





terremoto. Esto justifica que los movimientos de masas forman parte de los fenómenos geotécnicos que caracterizan el riesgo sísmico. (Mora y Vahrson, 1991; JWG, 1993). En el municipio Guantánamo, el sismo como factor activo y catalizador del fenómeno físico-geológico de deslizamiento, es de susceptibilidad alta, teniendo en cuenta que en cualquiera de las zonas sismogénicas que inciden sobre él se pueden generar sismos mayores de magnitud mayores de 5.0 Richter, a partir de la cual se induce este fenómeno.



**Figura 4. Zonas de inundación de la ciudad de Guantánamo por rotura de las presas (25 %) para dos niveles de llenado de las presas Jaibo y Guaso.**

Las lluvias actúan también como el más importante agente catalizador de los fenómenos gravitacionales en el municipio Guantánamo, no sólo por la intensidad con la que pueden ocurrir sino por su frecuencia. Para el municipio Guantánamo se estimaron los valores de susceptibilidad a este fenómeno en diferentes comunidades del territorio (**Tabla II**).

**Tabla II. Valoración cualitativa del peligro de deslizamiento (susceptibilidad) en comunidades del municipio Guantánamo.**

COMUNIDADES	Disección Vertical (m/Km <sup>2</sup> )	Pendiente (grados)	PELIGRO DE DESLIZAMIENTO
Guantánamo	16 - 176	0.2 - 10	Bajo a moderado
Jamaica	19 - 74	0.2 - 4.5	Muy bajo a bajo
CAI Paraguay	4 - 123	2.6	Muy bajo
CAI Honduras	24 - 484	0.2 - 9.5	Bajo a medio
CAI Argeo Martínez	19 - 176	4.6	Bajo
Santa Catalina	816 - 2800	>15	Alto
La Tagua	304 - 2656	1.14 - 15.7	Alto a muy alto
Alto El Mango	800 - 1680	10 - 26.7	Alto
Casimba Abajo	80 - 496	0.4 - 9.5	moderado a medio



Jorge Prieto (Cecilia)	3.2 - 50.4	< 5	Bajo
La Jabilla	19 - 176	0.04 - 2.7	Muy bajo a bajo
Maqueycito	32 - 948	0.3 - 9.5	Bajo a moderado

## TORNADOS.

Un fenómeno meteorológico vinculado con fuertes vientos que dejan pérdidas cuantiosas en algunos casos, son las TLS o Tormentas Locales Severas. Las TLS pueden venir acompañadas de granizos, golpes de agua, vientos con velocidades iguales o superiores a los 25 m/s (90 Km/h), además de las peligrosas descargas eléctricas y la formación de tornados.

Los tornados normalmente son de corta duración en el tiempo y cubren áreas pequeñas, por lo que son difíciles de pronosticar con exactitud (Alfonso, 1994). Algunos de los tornados más recientes reportados en la región de Guantánamo (CMPG, 2004) son los siguientes:

- 1996 Marzo 20 – 15:10 – En el Batey “El Salvador” los vientos alcanzaron 170 – 180 km/h y duró de 3 a 4 minutos. Afectó 96 casas, de las cuales 10 perdieron el techo totalmente. Arrancó de raíz matas de coco y 2 matas de mango. Arrasó con plantaciones de plátano. No produjo muertes.
- 2002 Julio 5 – 14:30 – En Carrera Larga (El Salvador) los vientos alcanzaron 140 km/h y duró 6 minutos. Afectó 10 viviendas, derribó varios árboles y postes del tendido eléctrico.

Los Tornados, aunque no son muy frecuentes en la región de Guantánamo, han tenido en ella vientos del orden de los 140 km/h. Con velocidades superiores sólo se reporta un caso en 1996. En el municipio Guantánamo y sus alrededores pueden formarse en el Sur de la meseta del Guaso y también en la zona árida cercana a la bahía.

## LLUVIAS ACIDAS.

Entre los muchos tipos de vegetación y cultivos que pueden sufrir la acción de las lluvias ácidas están el café y la caña de azúcar (Ph menor de 5.6), a pesar de que hay variedades de caña que son resistentes a la acidez de la lluvia (Alfaro, 1989). El fruto del café al ser rico en agua se vuelve más susceptible a la captación de  $SO_4$  y a la formación de ácidos. En consecuencia, con la ocurrencia de lluvias ácidas se reduce la capacidad de maduración del grano, incidiendo en una disminución de la cosecha. La lluvia ácida afecta las estructuras constructivas también. El pH próximo a 4.5 o por debajo de esta cifra, acelera de manera significativa los procesos de corrosión en equipos e instalaciones constructivas. La lluvia ácida altera también la calidad del agua de consumo, pudiendo crear problemas gastrointestinales, afecciones de la piel y otros.

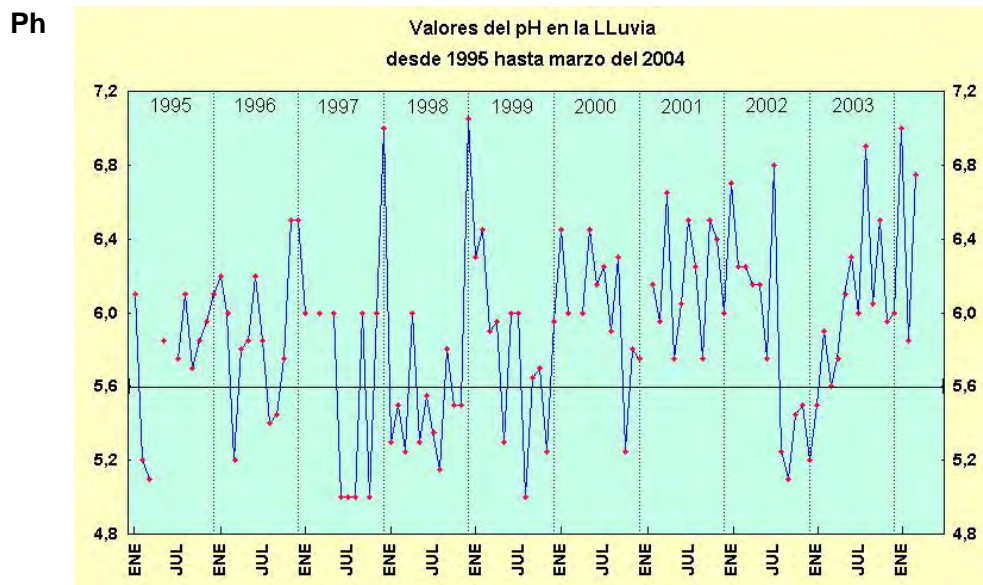
En la **Figura 5** se presenta la caracterización de la lluvia ácida en la ciudad de Guantánamo, utilizando los valores analizados de precipitación mensual en la Estación Meteorológica ubicada en la propia ciudad, durante el periodo de 1995 al 2001 (CMPSC y CMPG, 2004).

Se observa que en los años 1997, 1998 y 1999, precipitaciones de carácter ácido ocurrieron durante varios meses de forma consecutiva. Si analizamos que las lluvias y su volumen, en las zonas del Norte del municipio son las de mayor abundancia; así también, que en las alturas, el sistema de vientos y el arrastre de los patrones nubosos, es del Norte hasta el Este - Noreste y que la parte Norte es la zona de vegetación más abundante al penetrar en el sistema de alturas donde la humedad relativa tiende a ser más elevada, entonces los valores que se presentan y que fueron medidos en la ciudad, pueden ser iguales o superiores en la zona Norte. Hacia el Sur de la ciudad los efectos pueden incrementarse por las altas temperaturas.



## SEQUIA.

Guantánamo presenta déficit moderados y severos en los acumulados de las lluvias (CMPSC y CMPG, 2004). El contraste anual entre la media histórica evaluada para los primeros 15 años del treintenio 1961-1990 con respecto a los últimos 15 años, muestra una disminución en casi todo el municipio, excepto, una pequeña faja en la ladera Sur de la Meseta del Guaso y al Oeste de ella. El mayor decremento se presenta hacia el Norte del municipio que es la zona de mayor pluviosidad y de gran interés por encontrarse en ella el Parque Humbolt. Las zonas centro y Sur, caracterizadas por un clima de sabana y seco, también han sufrido decrementos de la precipitación anual, pero en menor cuantía.



**Figura 5. Caracterización mensual de lluvia ácida en la zona Guantánamo. Período 1995 – 2004.**

La zona donde la disminución es más acentuada es la zona Norte y en particular, el Noreste del municipio, o sea, zonas que anteriormente gozaban de un clima húmedo acentuado, han venido alarmantemente decrecentando la lluvia que históricamente les caía durante este período. Esto incrementa el riesgo para los cultivos de montaña, la flora y fauna, aumentando en consecuencia el peligro potencial de incendios forestales.

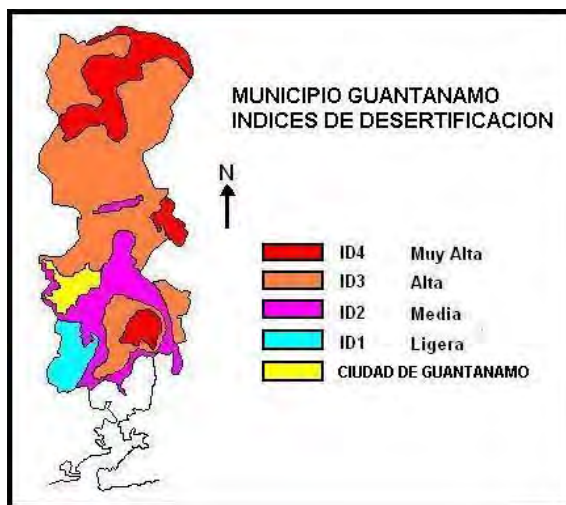
## INCENDIOS.

Durante el año 2002 con respecto a períodos anteriores, disminuyeron los incendios por inflamación de cocinas (6% del total de reportes), aumentaron los ocurridos por problemas eléctricos (12% del total), se mantuvo como más incidente en las zonas rurales el desprendimiento de la combustión por fogones de leña, se incrementaron los incendios por la quema de montes y malezas (34%) que es la principal causa en los sectores forestal y azucarero (plantaciones de caña). Otro gran número de afectaciones que no siempre son cuantificables se vincula a los incendios forestales. En el 2001 por ejemplo, se reportaron alrededor de 50 en la parte Norte del municipio .

## DEGRADACION DE SUELOS.



La degradación de los suelos es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativamente y/o cualitativamente) bienes o servicios. La degradación de los suelos no es necesariamente continua, sino que puede ocurrir en un período relativamente corto entre dos estados de equilibrio ecológico. Especial atención se dedica en los estudios de suelo a su degradación, ya que estos procesos alteran su estructura y su capacidad productiva. Cabe destacar entre los más significativos que se observan en el municipio Guantánamo a los procesos de erosión hídrica, de erosión eólica, de acumulación excesiva de sales (salinización y sodicación), de degradación química, de degradación física (asfaltización, encostramiento y compactación, de degradación biológica (deshumificación), entre otros, los que contribuyen al alto grado de desertificación que se presenta en este territorio (ESG, 2004). En la **Figura 6** se presenta como ejemplo la distribución geográfica de desertificación en el municipio Guantánamo.



**Figura 6. Principales procesos de degradación de suelos en el municipio Guantánamo. Período analizado: 1975 – 2000.**

### **AMENAZA TECNOLÓGICA POTENCIAL.**

En la ciudad y municipio de Guantánamo existen varias instalaciones en las que se utilizan y/o almacenan diferentes productos químicos y que de ser afectadas por fenómenos naturales tales como sismos, huracanes, entre otros; pudieran llegar a producir emergencias tecnológicas, del tipo de averías, escapes, etc., y en consecuencia la contaminación del terreno y la atmósfera.

Para determinar los radios de acción de las diferentes sustancias químicas que se encuentran almacenadas o en utilización dentro de estas instalaciones, se tuvieron en cuenta fundamentalmente los diferentes tipos y los volúmenes de sustancias presentes en cada una de ellas. En la **Figura 7** se presentan como ejemplo, los radios de afectación en el municipio y ciudad de Guantánamo de varias instalaciones donde radican productos tóxicos. Se presenta el caso de Inversión, en que la temperatura del aire es menor que la del suelo.

### **CONCLUSIONES.**

Se realizó la evaluación del impacto negativo producido por fenómenos naturales en el municipio Guantánamo, esto es, caracterización y parámetros; cronología y evaluación de su comportamiento, e impacto socioeconómico sobre el territorio. Todos los resultados se implementaron para ser introducidos en un Sistema de Información Geográfica.

### **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.**





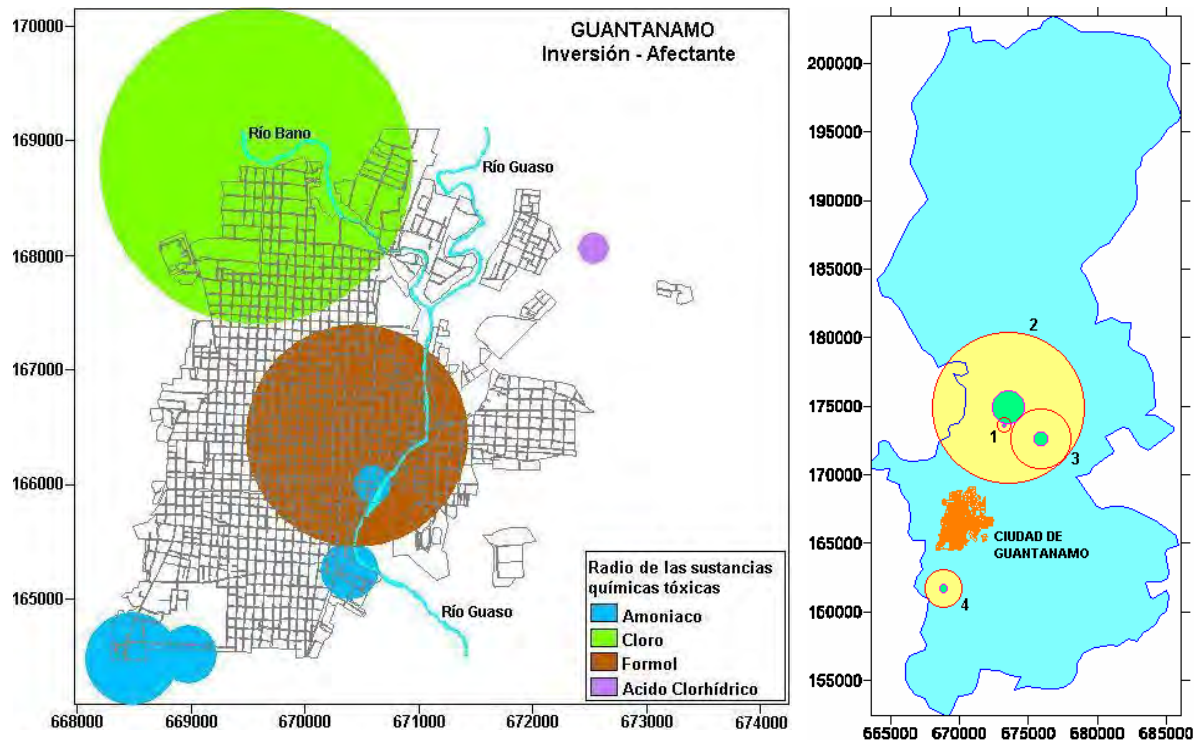
Alfaro, M. R. 1989. La lluvia ácida. Reporte de Investigación. Laboratorio de Contaminantes, Escuela de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Alfonso, A. P. 1994. Climatología de las Tormentas Locales Severas (TLS) en Cuba. Cronología. Editorial Academia.

Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo CMPG. 2004. Bases de datos.

Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba CMPSC. 2004. Bases de datos.

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas CENAI. 2004. Bases de Datos.



**Figura 7. Valoración por inversión de los radios de acción de productos tóxicos. Izquierda: Radios afectantes en la ciudad de Guantánamo por tipo de producto. Derecha: Radios letales (verde) y afectantes (amarillos) de productos tóxicos en el municipio Guantánamo.**

Chuy, T. J. 1999. Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonación Sísmica. Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del MES y del CENAI.

Chuy, T. J. 2000. Estimados de peligrosidad y microzonación sísmica de Cuba utilizando terremotos perceptibles. En: Sismos perceptibles, Peligro y Vulnerabilidad Sísmica en Cuba. Editorial Academia. La Habana. ISBN 959-02-0243-8. pp 7 – 50.

Chuy, T. J. 2003. Caracterización del proceso de liberación de las deformaciones en las principales zonas sismogénicas de Cuba. En: Memorias del V Congreso de Minería y Geología GEOMIN 2003, Ciudad de la Habana. ISBN 959-7117-11-8. 11 pp.

Estación de Suelos de Guantánamo ESG. 2004. Bases de Datos.

Fernández, N., Maximova, O. 1984. Cálculo del gasto de agua producido por la rotura en las presas de tierra y los niveles correspondientes aguas abajo. Rev. Voluntad Hidráulica No. 80, C. de la Habana.

Fuentes, O.A., Franco, L. E. 1997. Modelo Matemático de áreas de inundación. Cuadernos de Investigación, No. 41 Rev. CENAPRED.

Japan Working Group for TC-4 Committee JWG. 1993. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Japan.



- MeteoFrance. 1998.Sistema de Datos de Huracanes HURDAT (en PC).
- Mora, S. y Vahrson, W. 1991.Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination, Bull, Intl. Ass. Eng. Geology.
- Norma Cubana: NC 46: 1999. 1999.Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción, 3. Edición ICS: 91.080; 91.120.25. Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, 98 pp.
- Vega, R., Nuñez, M. y Cárdenas, P. 1990.Caracterización estadística de la precipitación total máxima en 24 horas. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 3, No. 1.





## **APLICACION DE DATOS DE IMAGENES DE SATELITES PARA LA DETECCION DE CAMBIOS DESPUES DEL TERREMOTO DE BAM, IRÁN.**

**Beatriz Lao Ramos** <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Empresa Geominera Camaguey, Carretera Central Este 5 ½ km Camagüey, Cuba, E-mail: [beatrizlr@geomineracmg.co.cu](mailto:beatrizlr@geomineracmg.co.cu).

### **RESUMEN**

Muchos de los terremotos en Irán y su vecindad, surgen como consecuencia del movimiento del escudo Árabe hacia la placa Euroasiática.

Uno de los más destructivos terremotos, ocurrió el 26 de Diciembre del 2003, en la ciudad de Bam, al sureste de Irán. El uso de imágenes de satélites (remote sensing) permitió que el mismo fuera examinado en término de sus características geológicas, detectándose los cambios en el terreno en la vecindad de la ciudad. El terremoto fue causado como consecuencia de la ruptura de la falla Bam.

Imágenes Aster, Landsat e Ikonos, tomadas antes y después del terremoto, fueron usadas en este estudio. Las mismas fueron procesadas usando ILWIS 3.2 software. Primeramente las imágenes fueron preparadas durante el procesamiento de imagen, creando un único sistema de coordenadas geográficas para todas las imágenes y una misma georeferencia para las imágenes del mismo satélite. Con el fin de comparar imágenes de diferentes fechas y de la misma localidad, produciendo altas resoluciones en las mismas, fueron realizadas correcciones geométricas. Posteriormente a esto, algunos índices de diferenciación fueron calculados y un breve análisis de los histogramas del Modelo Digital del Terreno fue realizado. Finalmente las técnicas de detección de cambios (Imagen Ratio, Diferenciación, comparación post-clasificación e Índice de vegetación) fueron aplicadas; los cambios determinados fueron clasificados y especificados en diferentes intervalos, enlazándolos a imágenes comparables. Como resultado de este estudio, las áreas dañadas fueron agrupadas en cinco clases y sus representaciones geográficas fueron creadas; una evaluación rápida de los daños fue hecha, reflejando que más del 80 % de la ciudad de Bam fue afectada durante y después del terremoto y alrededor del 59 % fue destruida.

### **ABSTRACT**

Most of the earthquakes in Iran and its vicinity, come forth as consequence of movement of Arabian shield toward Eurasian plate.

One of the most destructive earthquakes occurred on 26 December 2003, in Bam city, in the southeast of Iran. The use of satellite images (remote sensing) permitted that the earthquake was examined in terms of geological characteristics, detecting the changes in the terrain in the vicinity of city. The earthquake was caused as consequence of rupture of Bam fault.

Aster, Landsat and Ikonos images taken before and after the earthquake were used in this study. These images were processed using ILWIS 3.2 software. Firstly, the images were prepared by the image processing, creating a geographic coordinate system for all the images and the same georeference for the images from the same satellite. With the objective of to compare images of different dates and the same locality, producing high resolution in the images, the geometric correction was made. Later, some differentiation indices were calculated and a brief analysis of Digital Elevation Model histogram was made. Finally the change



detection techniques (Image Ratioing, Differentiation, post-classification comparison and Vegetation Index Differencing) were applied; the determined changes were classified and specified in different intervals, linking to compared images. As result of this study, the damaged areas were grouped in five classes and the geographic representation were created; a quick damage assessment was made, showing that more than 80% of the Bam city was damaged during and after the earthquake and around 59 % was destroyed.

## INTRODUCCIÓN

El territorio Iraní está situado en el medio del cinturón sísmico-orogénico Alpino-Himalaya y es entre las más activas regiones sísmicas en el mundo. El actual modelo de la placa tectónica indica que el Escudo Árábico se mueve con un rango de 30-40 mm por año hacia la placa Euroasiática; la consecuencia de su convergencia es el acortamiento de la corteza Iraní y el desarrollo del sistema montañoso Zagros (en el suroeste de Irán) y Alborz (en el norte), así como la abundancia de terremotos en este territorio (National Geoscience Database of Irán).

Muchos residentes en la histórica ciudad de Bam, dormían aún a las 5:26 a.m. del 26 de diciembre del 2003, cuando un terremoto de magnitud 6.6 (USGS, 2003) en la escala de Richter afectó la ciudad. Sus tradicionales casas de arcilla con paredes de ladrillos de barro ofrecieron poca resistencia a la violenta sacudida, como consecuencia las paredes se desmoronaron y los techos colapsaron dejando atrapadas numerosas víctimas bajo los escombros (Beverley J. Adams, Charles K. Huyck, Michael Mio, 2004). El epicentro del devastador terremoto fue localizado 29.01°N – 58.26°E, a 10km al suroeste de la ciudad de Bam.

Bam es una pequeña ciudad localizada en la provincia de Kerman (longitudes 58 .00 - 58 .30 E y latitud 29 .00 - 29 .30N), al sureste de Irán. El área de la ciudad es de alrededor 5 400 ha y su topografía es llana. La altitud de la ciudad es de 1 050 m sobre el nivel del mar; la población era de alrededor 90 000 personas antes del terremoto. Esta ciudad fue bien conocida por la histórica ciudadela (Arg-e-Bam) con más de 2000 años de fundada, la cual fue destruida durante el terremoto del 26 de diciembre del 2003 (Mehdi Zaré, 2004).

El presente trabajo fue realizado con el objetivo de detectar estos cambios ocurridos en la ciudad de Bam, haciendo uso de datos obtenidos a través de imágenes de satélites (Aster, Spot y Ikonos) tomadas antes y después del terremoto.

## Geología del Area.

Cinco diferentes litologías son observadas en las principales formaciones geológicas del área: el reciente Cuaternario representado por material no consolidado; areniscas y lutitas pertenecientes al Cuaternario tardío, rocas sedimentarias del Paleógeno, rocas volcánicas del Eoceno y rocas ígneas intrusivas (granitoides). Las areniscas y lutitas cuaternarias forman el material



aluvio-coluvio alrededor de Bam y su vecindad. El espesor de estos sedimentos levemente a moderadamente compactados, es de alrededor 50.0 m (IIIES, 2004).

La falla Bam constituye la principal forma tectónica del área, con 50 km de longitud; es una falla de deslizamiento por el rumbo, con desplazamiento lateral derecho y tendencia norte-sur (Figura 1). La ruptura de esta falla fue la causa que originó el terremoto del 26 de diciembre del 2003. En la historia del territorio esta falla no era contemplada dentro del grupo de fallas activas; la misma se encontraba enterrada por debajo de los espesos sedimentos (International Centre for Geohazards (ICG), 2004).

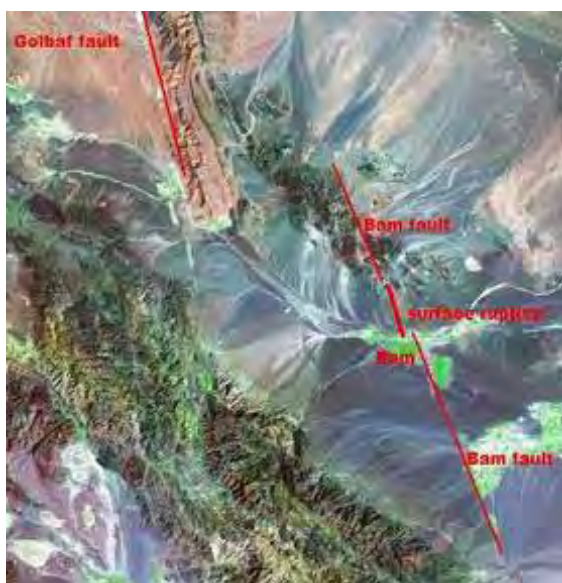


Figura 1. Imagen Landsat, mostrando la superficie de ruptura de la falla Bam.

## MATERIALES Y METODOS

Como materiales de trabajo fueron usados, imágenes de satélites de baja resolución (Spot con 120 m de resolución) tomadas después del terremoto del 26 de diciembre del 2003; de resolución intermedia se utilizaron las imágenes Aster de 15 m de resolución (tomadas antes y después del terremoto), imágenes Landsat TM con 30 m de resolución (antes del terremoto) e imágenes Landsat ETM con 15 m de resolución (después del terremoto); de alta resolución fueron usadas las imágenes Ikonos de 3 m de resolución tomadas el 27 de diciembre del 2003. Como software para el procesamiento de estas imágenes fue utilizado el ILWIS en su versión 3.2.

Los métodos, así como la metodología utilizada durante la realización del trabajo aparecen explicados de forma resumida en el flujograma general (Figura 2).



Para comenzar el trabajo de procesamiento, primeramente las imágenes Aster, Landsat, Ikonos y Spot fueron importadas a ILWIS software en su versión 3.2.

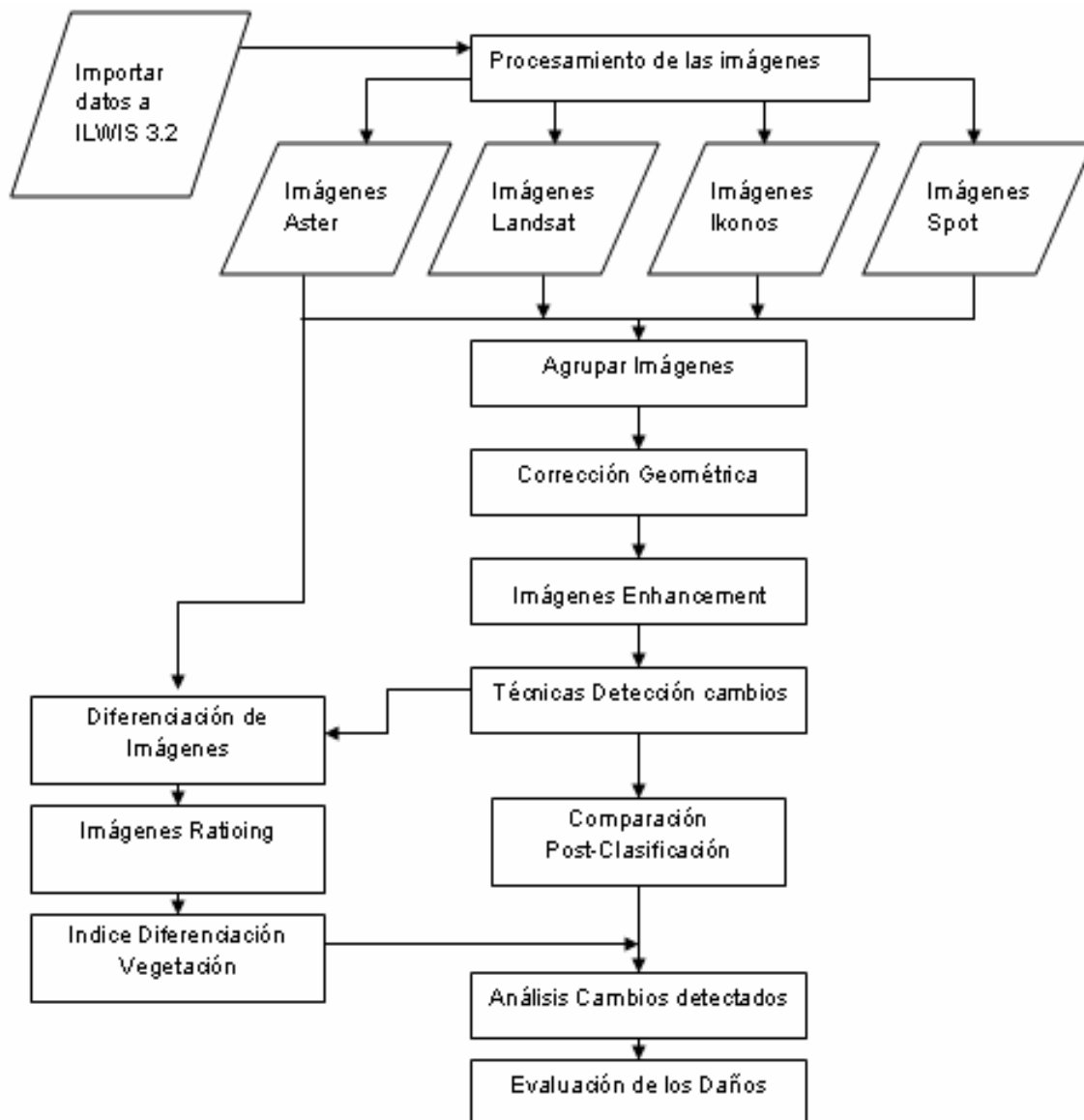


Figura 2. Flujograma General para el procesamiento de las imágenes.

El procesamiento de las imágenes fue dividido en dos partes principales:

1. El pre-procesamiento de las imágenes.
2. Análisis de los cambios detectados que permitió la evaluación de los daños.



## **Pre-procesamiento de las imágenes.**

La etapa de pre-procesamiento constituye un paso de gran importancia para la realización de una correcta detección de cambios. Estos estudios de detección incluyen la comparación de forma continua de imágenes de la misma localidad en diferentes etapas; por lo tanto esto requiere la compatibilidad de diferentes imágenes en término de sus características espaciales y espectrales. Las operaciones comunes para el pre-procesamiento de las imágenes son las correcciones geométricas o registro de diferentes imágenes y las operaciones ópticas incluyendo el enhancement espacial y óptico.

### **Agrupar las imágenes.**

La realización de una correcta corrección geométrica requiere, de que las imágenes tengan un único sistema de coordenadas geográficas y para imágenes de un mismo satélite, la misma georeferencia.

Un nuevo sistema de coordenadas geográficas fue creado, el cual sería empleado en todas las imágenes a utilizar. Una nueva georeferencia fue creada, con tamaño de pixel de 15 m para las imágenes Aster, otra con 30 m de resolución para las imágenes Landsat TM, una diferente de 15 m de resolución para las imágenes Landsat ETM, una para las imágenes Ikonos con 3 m de resolución y finalmente una de 120 m de resolución para las imágenes Spot.

### **Corrección Geométrica.**

Esta puede ser posible al comparar imágenes de diferentes fecha. Las imágenes Aster antes del terremoto, fueron utilizadas como patrón para la georeferenciación de todas las otras imágenes, acorde a seis puntos diferentes de control geométricos (GCP). La re-orientación de las imágenes fue realizada empleando el método Nearest Neighbour (el vecino más cercano); en este caso el valor del pixel es asignado del valor del pixel más cercano en la imagen original.

### **Imágenes Enhancement.**

Esta técnica es utilizada con el objetivo de producir alta resolución multiespectral en la imagen, durante la interpretación visual de la misma, lo que permite incrementar la distinción de las formas en las imágenes ya que el ojo humano es incapaz de diferenciar las ligeras diferencias espectrales.

En este estudio fue aplicada la técnica de Intensity-Hue-Saturation (IHS) usando ILWIS software para las imágenes Landsat ETM.

### **Proceso de detección de los cambios.**

Basadas en las técnicas de detección de cambios, las imágenes Aster antes y después del terremoto fueron procesadas en dos diferentes categorías:



diferenciación de imagen e imagen ratio. Las representaciones gráficas de los cambios detectados aparecen reflejadas en la Figura 3 y Figura 4.

Técnicas de detección de cambios:

- Comparación post-clasificación: Incluye la clasificación de cada una de las imágenes independientemente, seguida de la comparación de los valores de los píxeles con el objetivo de identificar las áreas donde han ocurrido cambios (Peter J. Deer).
- Diferenciación de las imágenes: Durante la aplicación de esta técnica cada valor del píxel es sustraído desde su correspondiente píxel valor. La imagen resultante representa los cambios entre diferentes fechas (Engin Olgun 2000).
- Imágenes ratioing: Esta técnica consiste de calcular el cociente de los valores de los píxeles correspondientes de las imágenes registradas en diferentes fechas. Si el valor del píxel es igual a la unidad, se asume la no ocurrencia de cambios; por el contrario, si el valor del píxeles es mayor o menor de la unidad esto evidenciaría la existencia de los cambios ocurridos (Peter J. Deer).
- Índice de diferenciación de la vegetación: Incluye la diferenciación de la combinación de dos o más bandas con el objetivo de resaltar la vegetación. La diferencia de los índices de vegetación refleja donde la vegetación ha sido significativamente afectada (Peter J. Deer). Debido a la inexactitud de las fechas en las que fueron tomadas las imágenes Aster, el resultado de la diferenciación de los índices de vegetación no fue considerado como confiable ya que los cambios pudieran estar asociados a cambios de vegetación o variación de las estaciones.

Las imágenes Landsat TM, ETM y Ikonos fueron usadas para crear un color compuesto, aplicando esto como base para comparar las características de la ciudad y su vecindad antes y después del terremoto.

## RESULTADOS

Como resultados de la aplicación de las técnicas de diferenciación y ratio, dos mapas diferentes fueron obtenidos, los cuales reflejan la clasificación de las áreas que sufrieron cambios después del terremoto del 26 diciembre del 2003 (Figura 3 y 4).



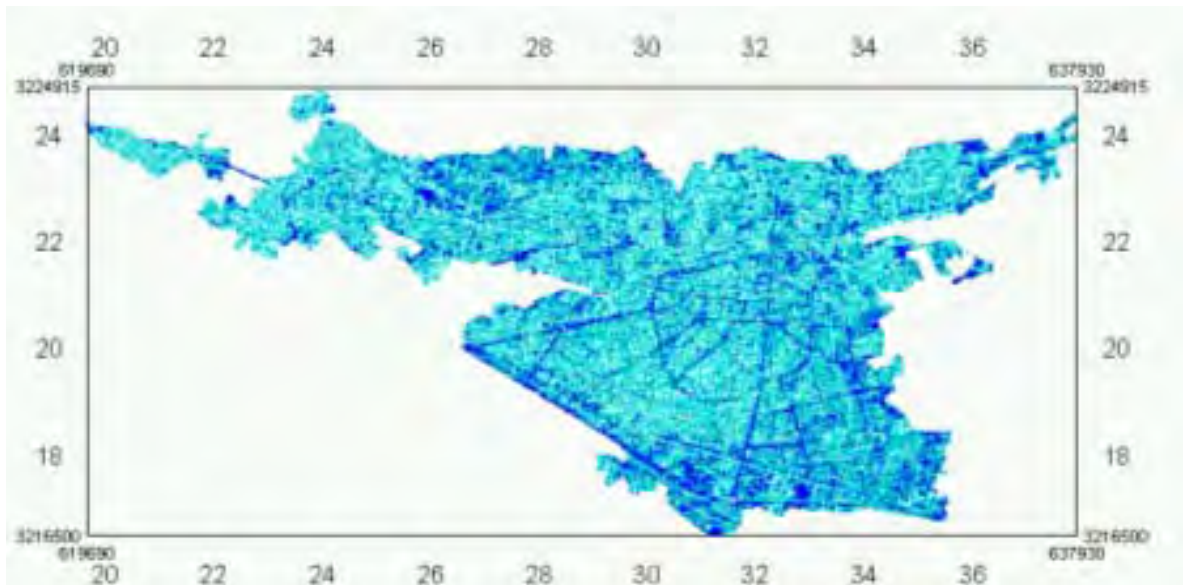


Figura 3. Clasificación de las áreas que sufrieron cambios (Resultado de la aplicación de la Técnica de diferenciación).

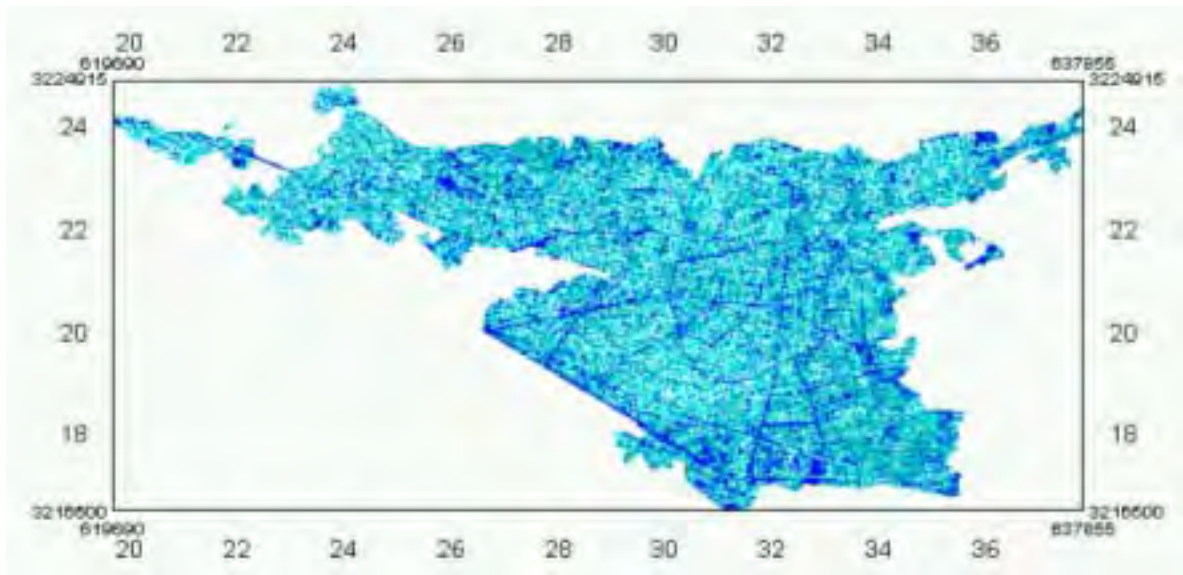
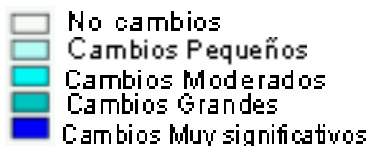


Figura 4. Clasificación de las áreas que sufrieron cambios (Técnica de Ratio).

Leyenda Escala 1:115 000 (Para las figuras 4 y 5).



Un pequeño análisis del Modelo Digital de Terreno de la ciudad de Bam y sus alrededores fue realizado como parte enriquecedora del trabajo, lo cual permitió comparar los cambios de altitudes de las áreas dañadas después del terremoto.

El Modelo Digital del Terreno (DEM) utilizado en este estudio fue obtenido a partir de imágenes Aster con 30.0 m de resolución creado durante el trabajo final de curso de otros compañeros (Daniel Muaigebeko y Lu Zhengquan, 2004).

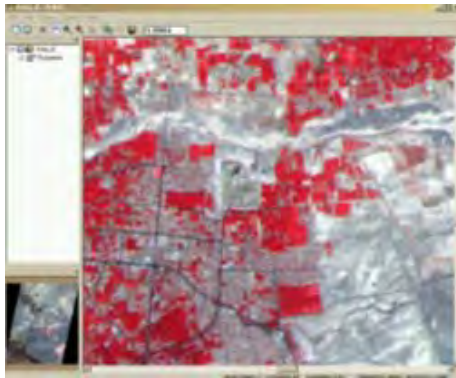
El análisis del DEM fue basado fundamentalmente en la distribución de los valores de los píxeles en los histogramas correspondientes al DEM antes del terremoto y el DEM después del terremoto. La diferencia entre los máximos valores del píxel (antes y después del terremoto) muestran una reducción de 11.7 m después del terremoto, lo cual está relacionado con las áreas destruidas y completamente colapsadas edificaciones, pozos y canales localizados hacia la parte sur y sureste de la ciudad. De forma general fueron analizados además, los cambios en los valores de la media, la mediana y la desviación estándar.

## DISCUSION

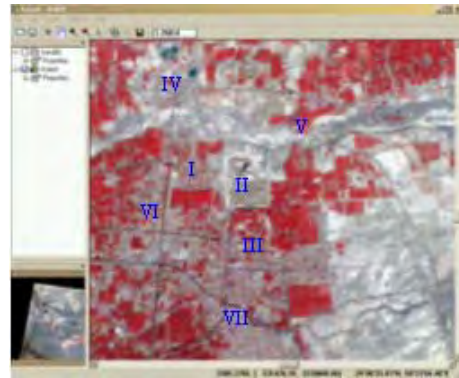
### **Análisis de los cambios detectados.**

Con el objetivo de evaluar los resultados obtenidos, algunas áreas de interés fueron seleccionadas y comparadas antes y después del terremoto; los principales cambios fueron detectados. En este caso solamente algunas de estas áreas serán mostradas.

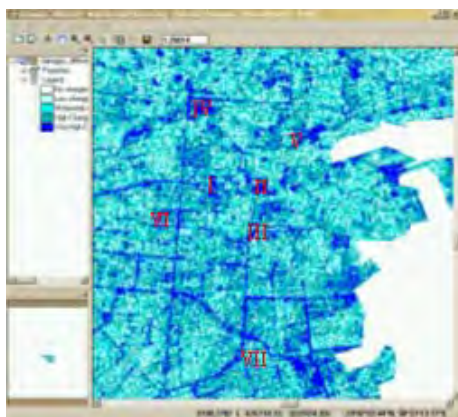
Hacia la parte noreste y este de la ciudad de Bam, los grandes cambios, así como los cambios muy significativos están asociados con las edificaciones y calles destruidas, ciudadela (Arg-e-Bam) y el área oeste y sur de Arg-e-Bam (Figura 5).



A



B



C

Hacia la parte sureste de la ciudad de Bam los cambios grandes y muy significativos están asociados con calles y edificaciones colapsadas, así como canales y pozos construidos por el hombre para el abastecimiento de agua (Figura 6).

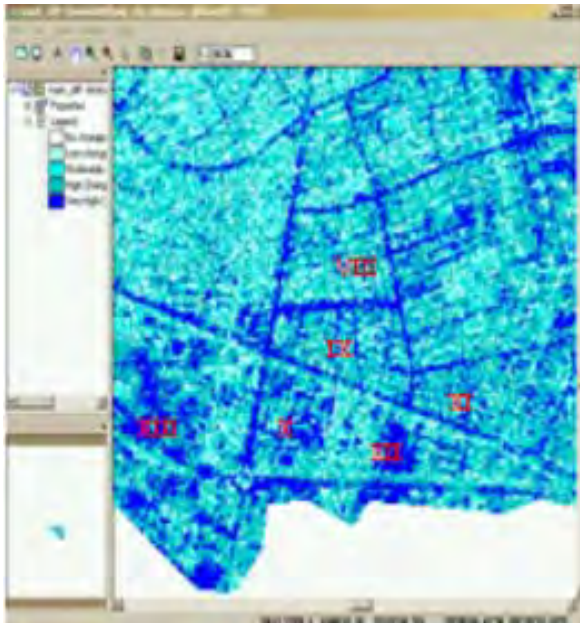


A



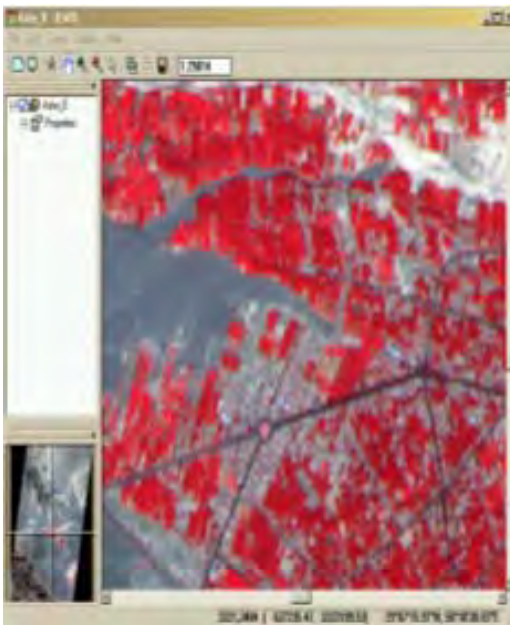
B



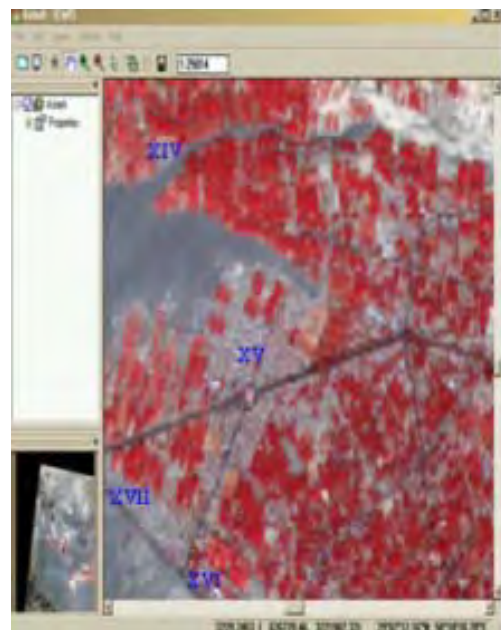


C

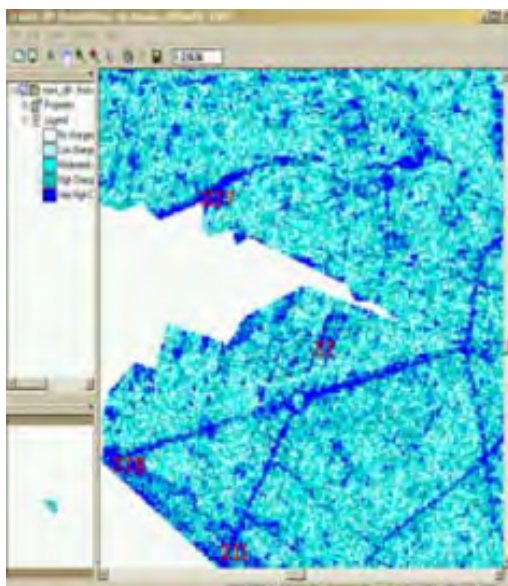
Hacia la parte suroeste de la ciudad de Bam, los cambios grandes y muy significativos están asociados con edificaciones colapsadas, calles destruidas, así como deslizamientos en la rivera del río (Figura 7).



A



B



C

En general las áreas que reflejan los grandes y más significativos cambios, están asociadas con las áreas destruidas y edificaciones completamente colapsadas; estas áreas se localizan fundamentalmente hacia la parte este, sureste y suroeste de la ciudad de Bam, cercanas a la falla Bam y al epicentro del terremoto.

Hacia la parte norte y oeste de la ciudad prevalecen los cambios moderados, estando estos asociados con las áreas parcialmente destruidas. Las áreas donde no ocurrieron cambios o estos fueron bajos, son las menos representativas, debido a que la ciudad fue casi completamente afectada durante este terremoto.

Acorde a la comparación de los cambios detectados, los rangos de clases indicadas fueron definidos como dañadas en las imágenes comparadas; como resultado tenemos que la clase no cambios se denominaría no dañada, la de cambios pequeños como daños pequeños, cambios moderados como moderadamente dañadas, cambios grandes o grandes cambios como dañadas y finalmente cambios muy significativos como grandemente dañada. El área en por ciento ocupada por cada clase, según las técnicas de ratioing y diferenciación aparecen reflejadas en la Tabla I.



Tabla I. Area en porciento ocupada por cada clase en los mapas resultados.

Clases	Area (%)	
	Técnica Diferenciación	Técnica Ratioing
No dañada	8.89	11.37
Daños pequeños	12.78	12.72
Moderadamente dañada	15.95	16.90
Dañadas	48.11	45.03
Grandemente dañadas	14.27	13.98
Total	100.00	100.00

Como aparece reflejado en la Tabla I, las clases No dañadas y Daños pequeños ocupan las áreas más pequeñas. Por otro lado los altos valores representan el dominio de las áreas dañadas en la ciudad como resultado del terremoto ocurrido el 26 de diciembre del 2003.

### Evaluación de los daños.

Después de realizar una comparación de los resultados de los diferentes cambios detectados con las imágenes antes y después del terremoto, los daños fueron evaluados cruzando los mapas y las tablas obtenidas como resultados de la aplicación de las diferentes técnicas de detección.

Con el objetivo de incrementar la exactitud de los resultados se realizó un solapamiento de los daños anteriormente evaluados. Como resultado el máximo y mínimo valor del daño distribuido por pixel, así como el área total por cada clase en porciento fue calculada y reflejada en la Tabla II.

Tabla II. Total de área dañada por clase en el mapa resultante del cruce.

Clases	Area (%)		
	Mínimo	Máximo	Total
No dañada	1.49	3.91	11.36
Daños pequeños	1.87	4.58	12.71





Moderadamente dañada	0.42	7.33	16.92
Dañadas	2.07	29.04	45.03
Grandemente dañadas	0.21	8.60	13.98

Estos resultados confirman que más del 80 % de la ciudad de Bam fue afectada por el terremoto y alrededor del 59 % fue destruida; ocasionando pérdidas de vida humana mayores a 30 000, igual números de lesionados y alrededor de 100 000 personas sin hogares. Solamente alrededor del 11.4 % de la ciudad, no fue afectada durante y después de este fenómeno natural.

## CONCLUSIONES

En este estudio, el terremoto ocurrido en la ciudad de Bam, durante el 26 de diciembre del 2003, fue primeramente descrito teniendo en cuenta sus características geológicas; luego de haber realizado una búsqueda bibliográfica, el estudio continuó hasta lograr detectar los cambios y evaluar los daños después del terremoto con la aplicación de las técnicas de detección de cambios usando imágenes de satélites Aster, Ikonos y Landsat. Como principales conclusiones de este trabajo tenemos:

- El terremoto de la ciudad de Bam es el más reciente de la región y en términos de costos humanos fue el peor desastre en la historia Iraní.
- En varias aplicaciones de remote sensing, los daños fueron determinados e interpretados en diferentes resoluciones espaciales. Los daños en la parte oeste y sur de Arg-e-Bam, así como los daños existentes en la parte sureste y suroeste de la ciudad de Bam, fueron detectados claramente en todas las aplicaciones de remote sensing.
- Luego de un correcto pre-procesamiento de las imágenes, el establecimiento de los valores límites para cada clase determinada tiene gran importancia durante la realización del análisis de detección de los cambios. Acorde a los valores límites establecidos, los cambios más significativos fueron detectados hacia la parte sur y este de la ciudad de Bam, lo cual está relacionado con la ubicación del epicentro del terremoto y la falla Bam.
- La comparación de las imágenes clasificadas, antes y después del terremoto, muestran que los grandes y muy significativos cambios están asociados con las edificaciones completamente colapsadas y las áreas más dañadas.
- Las áreas dañadas fueron especificadas mayormente por la comparación de los cambios detectados, obtenidos durante la aplicación



de la técnica Comparación post-clasificación con los resultados de detección de cambios obtenidos por las técnicas de diferenciación y ratioing.

- Como consecuencia del terremoto dos diferentes tipos de daños fueron determinados:
  - Daños estructurales en el área debido al colapso de las edificaciones en la ciudad de Bam.
  - Daños causados en el terreno debido al colapso de canales y pozos en el sur de la ciudad de Bam.
- Como resultado del cruce de los mapas resultados clasificados, solamente alrededor del 11.4 % de la ciudad no fue afectada por el terremoto; sin embargo alrededor del 59 % de la ciudad de Bam fue completamente destruida.

## BIBLIOGRAFIA

- Beverley J. A., Charles K. H., Michael Mio, Sungbin Cho, Shubharoop G., Hung Chi Chung and Ronald T., 2004. The Bam (Iran) Earthquake of December 26, 2003, Preliminary Reconnaissance Using Remotely Sensed Data and the VIEWS System: <http://mceer.buffalo.edu/research/bam>
- Engin O., 2000. Izmit (Turkey) earthquake, August 17, 1999 and the application of change detection techniques for damage assessment using Spot 4 satellite images. P.M thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Ilwis 3.0 User's Guide., 2001, Multi-band operations. Enschede-the Netherlands. P 249-259; 401-402.
- International Centre for Geohazards (ICG), April 2004. Bam Earthquake of 26 December 2003: [http://www.gsi-irán.org/images//bam/pdf/Bam\\_earthquake\\_report-ICG-1.pdf](http://www.gsi-irán.org/images//bam/pdf/Bam_earthquake_report-ICG-1.pdf).
- International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES) of Iran, April 2004. Preliminary Observations on the Bam, Iran, Earthquake of December 26, 2003., Special Earthquake Report.
- Mehdi Z., 2004., Seismological Aspects of Bam (SE Iran) Earthquake of 26 December 2003, Mw6.5, A Preliminary Reconnaissance Report: [http://www.mehdizare.com/bam\\_eq\\_seismological.htm](http://www.mehdizare.com/bam_eq_seismological.htm)
- National Geoscience Database of Iran, 2004. Earthquake Database: <http://ngdir.ir/GeoportalInfo/SubjectInfoDetail.asp?PID=13>
- Peter J. D., 2004. Digital change detection techniques, civilian and military applications. Information Technology Division, Defence Science and Technology Organisation, Australia: <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/ISSSR-95/digitalc.htm>.
- U.S. Geological Survey, National Earthquake Information Center, October 2003. Preliminary Earthquake Report: <http://www.earthquake.usgs.gov/recenteqsww/Quakes/uscvad.htm>



## **MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS DESLIZAMIENTOS DE LA REPÚBLICA DE CUBA A ESCALA 1:250 000.**

**Damián Febles Elejalde José Rodríguez Pérez**

*Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Calle 114 #11901 /119 y 127, Cujae,  
Marianao CP 19390 C. Elect: [damian@civil.cujae.edu.cu](mailto:damian@civil.cujae.edu.cu), [jrdquez@civil.cujae.edu.cu](mailto:jrdquez@civil.cujae.edu.cu)*

Los deslizamientos constituyen unos de los procesos geológicos exógenos más difundidos y de mayor peligro a escala planetaria. Según datos bibliográficos los deslizamientos provocan pérdidas sumarias significativamente mayores que las ocasionadas por la erupción de los volcanes, las inundaciones, los huracanes e incluso los terremotos.

En el estudio de los deslizamientos adquiere una importancia vital la posibilidad de su pronóstico para evitar las consecuencias altamente negativas de estos fenómenos geológicos.

El trabajo que se presenta es el resultado de la aplicación de una metodología desarrollada en el Departamento de Geociencias de la CUJAE con el empleo del Sistema de Información Geográfica ArcView para la confección de un mapa de Cuba a escala 1:250 000 de susceptibilidad a los deslizamientos, donde se precisan las áreas mas propensas a este fenómeno geológico a lo largo del territorio nacional.

En el proceso de identificación de las áreas más susceptibles a los deslizamientos se utilizaron las siguientes variables: pendiente del relieve topográfico, composición de las rocas y/o suelos, tectónica predominante, el efecto antrópico ( densidad de población y densidad de carreteras y caminos) y el régimen de precipitaciones.



## DINAMICA ACTUAL DE LA CORTEZA TERRESTRE EN LA REGION ORIENTAL DE CUBA.

M.Sc. Enrique Diego Arango Arias<sup>1</sup>, Dr. José Rueda Pérez<sup>2</sup>, Dr. Jorge del Pino Boitel<sup>1</sup>, Dr. Jorge García<sup>3</sup> Díaz, Ing. Eric Escobar<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17 No. 61 e/ 4 y 6, Vista Alegre, Santiago de Cuba, CP 90 400, Cuba. C-Elect: [arango@cenais.ciges.inf.cu](mailto:arango@cenais.ciges.inf.cu).

<sup>2</sup>GEOCUBA. IC.

<sup>3</sup>GEOCUBA. Empresa Oriente Norte.

### RESUMEN.

En este trabajo se presenta un análisis de la tendencia actual de la dinámica de la corteza terrestre en la región oriental de Cuba a partir de los resultados obtenidos por medio del registro de eventos sísmicos desde el año 1968 hasta el año 2004 por medio de la red de estaciones del Servicio Sismológico Nacional y a partir del monitoreo de los movimientos recientes de la corteza terrestre, tanto verticales como horizontales realizado en diferentes polígonos y líneas geodinámicas, y en punto GPS de primer orden del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra ubicado en Santiago de Cuba.

La región oriental se ubica en la porción sur de la Placa de Norteamérica, en contacto con la Microplaca de Gonave, aspecto que condiciona que sea esta la región de Cuba donde se ponen de manifiesto con mayor significado la dinámica actual de la corteza terrestre a través de movimientos rápidos (sísmicos) y movimientos lentos (deformaciones de la corteza). Sin embargo la tendencia actual de los movimientos de la corteza terrestre no solo se manifiestan en zonas muy activas relacionadas con los procesos geodinámicos que ocurren a lo largo del límite de placas ya conocidos, si no también en zonas del interior de placa donde no se habían manifestado movimientos significativos de la corteza terrestre.

El conocimiento de la tendencia actual de la dinámica de corteza terrestre en una región permite actualizar los estimados de peligrosidad sísmica de la región, evaluar los peligros y riesgos geodinámicos de diferentes objetivos de interés socioeconómicos, así como evaluar de los cambios que operan en la zona litoral y su relación con los movimientos tectónicos para un mejor ordenamiento y planeamiento territorial.

### ABSTRACT.

In this paper, the analysis of the actual dynamic of the earth crust in the South East region of Cuba, obtained by the analysis of several seismic event recorded by the National Seismological Service Network, from 1968 to 2004, and from the monitoring of recent vertical and horizontal earth crust movements, measured in different polygons and geodynamical lines, as well as GPS system of first order belonging to the International Rotational Service of the Earth, in Santiago de Cuba city is done.



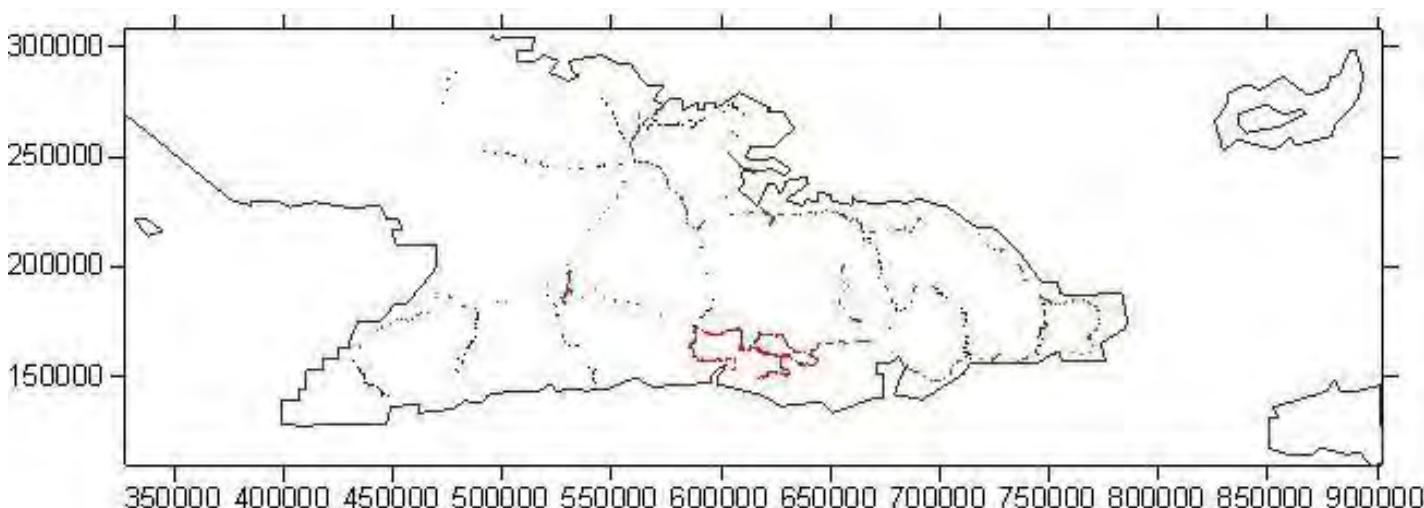
## Introducción.

### Materiales y Métodos Empleados.

Para la realización de este trabajo utilizamos todos los métodos existentes en nuestro país para el monitoreo de los movimientos recientes de la corteza terrestre tanto los que ocurren de forma lenta, como los que ocurren de forma rápida. La utilización de diferentes métodos y tecnología, así como en ocasiones la no coincidencia en tiempo y espacio de los diferentes métodos condiciona determinada complejidad a la hora de analizar los resultados de manera conjunta.

1. Resultados de las mediciones de los movimientos verticales recientes de la corteza terrestre mediante polígonos y líneas geodinámicas situadas en la región oriental de Cuba desde 1980 hasta el 2004, pertenecientes a GEOCUBA (antes de 1994 ICGC).

Para obtener los resultados de la dinámica de la corteza terrestre en la región oriental de Cuba contamos con los resultados de las mediciones de todos los polígonos geodinámicos que en diferentes sitios y para diferentes objetivos se diseñaron y midieron (Fig. 1).



**Fig. 1 Mapa donde se ubican las líneas de los polígonos geodinámicos de la región oriental de Cuba.**

2. Resultados de las mediciones de los movimientos recientes de la corteza terrestre en el punto GPS del Sistema Internacional de Rotación de la Tierra en Santiago de Cuba desde el año 1995 hasta el año 2004, realizadas en colaboración con el GFZ de Postdam Alemania (Fig. 2).

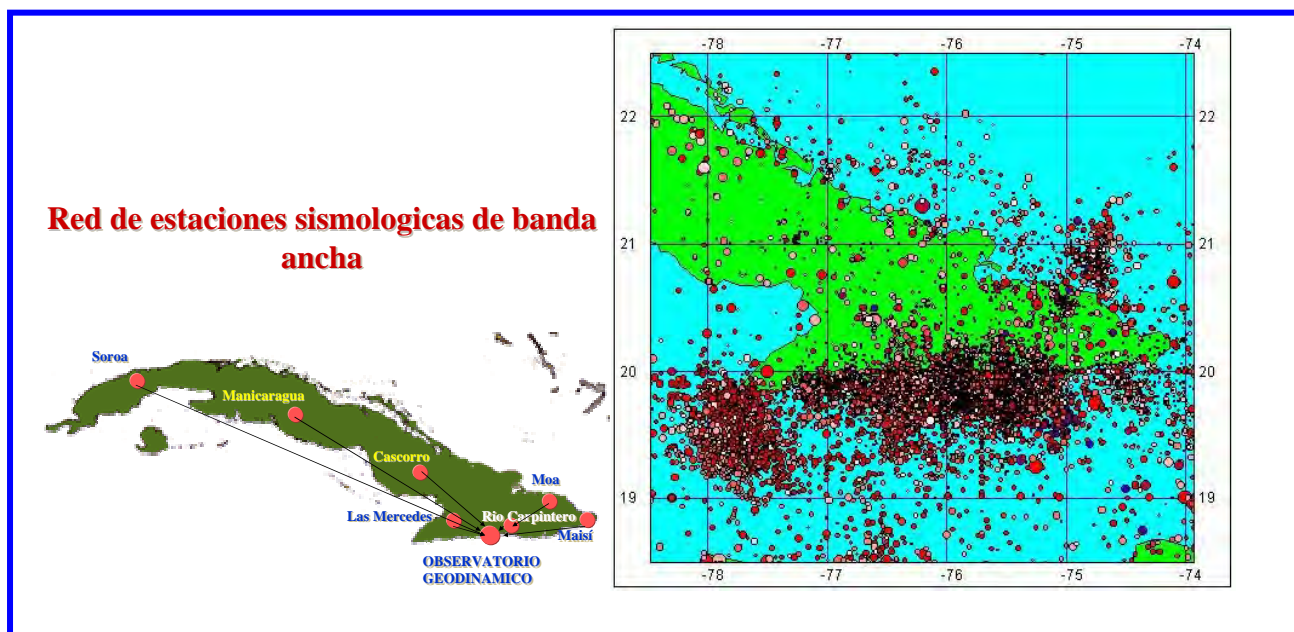


**Fig. 2. Velocidades absolutas del movimiento de la Placa de Norteamérica en el punto GPS ubicado en Santiago de Cuba.**





3. Resultados del monitoreo de la sismicidad ocurrida en la región oriental de Cuba obtenidos por medio de la red de estaciones del Servicio Sismológico Nacional de Cuba perteneciente al CENAI (Fig. 3).



**Fig. 3. Red de estaciones de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional y mapa de epicentros con la actividad sísmica registrada por esta red hasta el 2004.**

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Para realizar una correcta interpretación y análisis de la dinámica de la corteza terrestre en la región oriental de Cuba se debe realizar en primer lugar una caracterización del contexto geodinámico regional, considerando su ubicación en la Placa de Norteamérica, en las inmediaciones de su límite con la Microplaca de Gonaive, situada al sur de Cuba.

El contexto geodinámico regional donde está ubicada la parte oriental de Cuba esta caracterizado por el movimiento de la Placa de Norteamérica la cual presenta un movimiento absoluto de unos 20 mm/año hacia el este. Este movimiento se genera a partir de la zona de generación de corteza oceánica situado en la dorsal centro oceánica del Océano Atlántico. Sin embargo, este movimiento hacia el Este se ve modificado en cierta medida por las características del contacto con la Microplaca de Gonaive, donde se produce un rozamiento a través de la zona de fallas transformante Oriente.

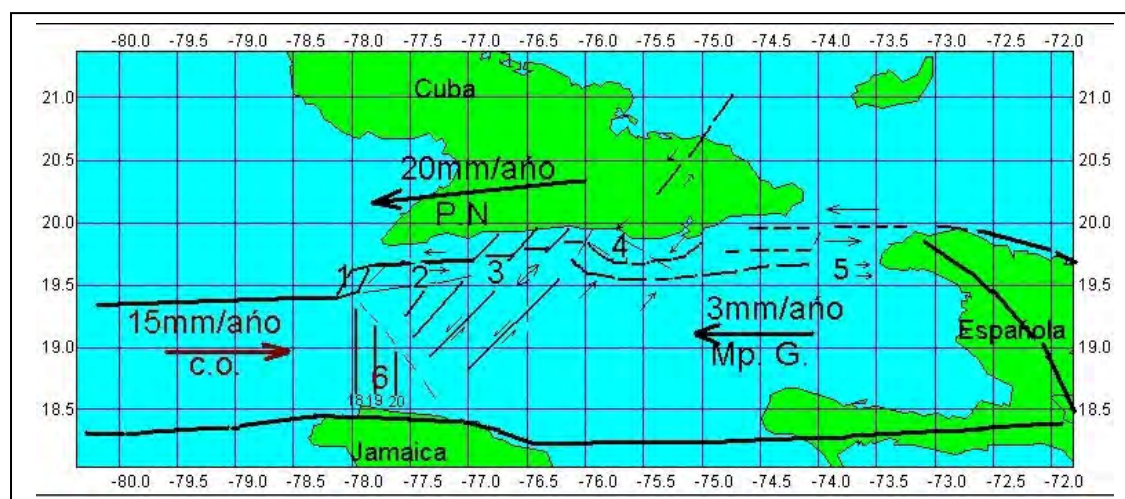
A partir del análisis e interpretación de todos los materiales utilizados en este trabajo podemos definir determinados elementos significativos de la dinámica reciente de la corteza terrestre en la región oriental de Cuba:





La corteza terrestre en el punto GPS de primer orden de Santiago de Cuba manifiesta un movimiento absoluto de 7.69 mm / año, con una dirección predominante hacia el NOROESTE. Es este sentido se debe señalar que este valor no se corresponde con los valores estimados por diferentes autores mediante la utilización de varios modelos para calcular los movimientos absolutos de las placas, debido a que la cercanía a la zona límite de Placas condiciona necesariamente una disminución o retardo del movimiento absoluto de la Placa de Norteamérica.

Los resultados de las mediciones de los movimientos recientes de la corteza terrestres en los polígonos y líneas geodinámicas manifiestan por lo general una tendencia cíclica espacio-temporal, definiéndose determinadas zonas de debilidad tectónica a escala regional que se corresponden con las zonas de la corteza terrestres donde actualmente se llevan a cabo las deformaciones más significativas. Estas deformaciones están ocasionadas en mayor medida como resultado de las presiones y distensiones a que está sometida esta región comentadas anteriormente relacionadas con los movimientos de la Placa de Norteamérica y su contacto con la Microplaca de Gonaive y se corresponden con los modelos geodinámicos elaborados anteriormente para la zona límite de placas por Arango (2003).



**Fig. 4. Principales procesos geodinámicos que condicionan los movimientos actuales de la corteza terrestre en la región oriental de Cuba. 1-Transgresión, 2-Deslizamiento por el rumbo. 3- Distensión. 4-Transpresión. 5-Transtensión. 6. Corteza oceánica generada en el Rift de Caimán.**



## Conclusiones.

1. Los resultados obtenidos por diferentes métodos de monitoreo de los movimientos recientes manifiestan la tendencia actual de la dinámica de la corteza terrestre en la región oriental de Cuba.
2. El comportamiento heterogéneo de la actividad sísmica en la región de estudio esta relacionado con las características de los procesos geodinámicos que se manifiestan en esta región.
3. Los estudios de la dinámica reciente de la corteza terrestre por medio de un complejo de métodos debe continuar para obtener el modelo geodinámico a escala 1:500 000 de la parte emergida donde se reflejen las fallas activas con potenciales peligros sismotectónicos.

## Bibliografía.

- ARANGO, E. 1996. Geodinámica de la región de Santiago de Cuba en el límite de las Placas de Norteamérica y el Caribe. Tesis en opción al grado de Masters en Ciencias Geológicas. Instituto Politécnico Nacional de México. 110p.
- ARANGO, E. 2003. Análisis Sismotectónico de la zona límite de placas al sur de Cuba oriental. Memorias del V Congreso Cubano de Geología y Minería GEOMIN 2003.
- DEL PINO, J. 2004. Resultados de las mediciones del punto GPS de Santiago de Cuba. Informe Inédito. Archivo CENAIIS.
- GEOCUBA 2004. Sistematización de los resultados de la nivelación de precisión de la región oriental de Cuba y otros trabajos con fines geodinámicos. Informe técnico. Archivo CENAIIS.



## **INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA PARA LAS MEDIDAS CORRECTIVAS DEL DESLIZAMIENTO DE TIERRA DE LA AUTOPISTA HABANA-MELENA DEL SUR**

**Sergio Paz Morales.<sup>(1)</sup>**

**(1) UNAICC-Prov.-Ciudad de La Habana.**

Debido al deslizamiento de tierra de la Autopista Habana-Melena del Sur, se nos encomendó la investigación geológica para aplicar las medidas correctivas, lográndose la clasificación del corrimiento, el establecimiento de la Estratigrafía y las condiciones estructurales del área

El deslizamiento sobre la vía lo clasificamos como un movimiento rotacional pues la posición del buzamiento de los estratos, coincide con la inclinación de la ladera hacia la autopista y como existen numerosos planos de resbalamiento, representados por los espesores de las capas de lutita intercaladas con las de caliza, se producen separaciones a lo largo de los planos entre los estratos suprayacentes e infrayacentes y tiene lugar el desplazamiento de dichos estratos suprayacentes, predominando el movimiento rotacional.

En el lado opuesto se produce una erosión diferencial dando lugar a un desprendimiento de rocas fuera de la vía.

El estudio de la Estratigrafía determinó que el área del corrimiento se halla dentro de la Formación El Cangre que es una secuencia flyschoides y esta representada por calizas arcillosas (micritas) y fosilíferas y por lutitas a veces algo calcáreas.

Tectónicamente en el área estudiada por nosotros, los estratos yacen subhorizontalmente en forma de monoclinas suaves y muy localmente pliegues sinsedimentarios (slumping).

Las medidas correctivas que proponemos, desde el punto de vista geológico, son el reajuste de los taludes y la corrección del drenaje para controlar la infiltración de las lluvias y del agua subterránea.



## CYCLITY AND HASARD IN SALT MASSIFS GEOLOGY AND SALT EXPLOITATIONS

**Dr.Drăgănescu Liviu**

*Salina Slănic, Cuza Voda Street, no 22, code 106200 Roumania e-mail: csngdr@hotmail.com*

Mineral cristallisation phenomena happen by the interaction of several factors, amongst which those concerning solar power conservation and the internal energy consumption are essential.

Inside the phenomenon of universal attraction highlighted by Newton, the attraction the Earth exercises on the bodies on its surface and in the space around it represents a particular case. The space where the bodies are heavy is the one where the mass attraction and the revolving motion are simultaneously sensed. It is called "the gravity field". In order that salt crystals are formed there must exist premises for creating an over saturated solution. Turning a normal solution into an over-saturated one, requires either modifying the temperature or increasing concentration. Decreasing temperature results in particles of fine concentrating solution starting to gather in an orderly way into material points, in the beginning,  $10^{-8}$ - $10^{-12}$  in size, which represent the first reticular structures being called crystalline germs. Under the influence of gravity, in saturated solutions, there appear currents of concentration, spontaneously which influence the development of salt crystals, meaning that equal or unequal faces of crystals can evolve. The process of salt crystals results from the general molecular kinetic theory of crystals. Crystal growth is carried out step by step, each new  $\text{Na}^+$  ion is surrounded by six  $\text{Cl}^-$  ions and viceversa, so all connections are saturated. The planed limiting the salt crystal have an unsaturated connexion in the middle, two ones of the edge and three ones in the corners. The first particle of contrary sign existing in the solution can be attracted at the corner of the crystal, the second next to the first and so on until a reticular plan is formed. Then, a new reticular plane will develop in the corners. The amount of the net energy can be calculated with the help of the cycle conceived by Hober-Born. The started from an alkaline metal and a halogen in free condition, that is from metal sodium and gas chlorine. NaCl crystals can be obtained in two way (fig 1.)

Salt crystal association in big accumulations is a natural phenomenon that allow highlighting certain events recurrence. So, between the macro and micro cosmos there is a resemblance and there are also tight connexions for which several arguments can be produced.

The first people to notice the nature cyclity were the Antiquity philosophers. The Chinese Tao claimed that any transformation in nature are cyclic, expansive and than is has a contraction character. The Greek Hereclit conceived the cyclity in the fact that what is cold get warm, what is warm get cold, what is dry get wet and what is wet get dry. In fact in Ancient Egypt and Greece cyclity was represented by a snake with the tail in its mouth( fig. 2) called Ouraborul.

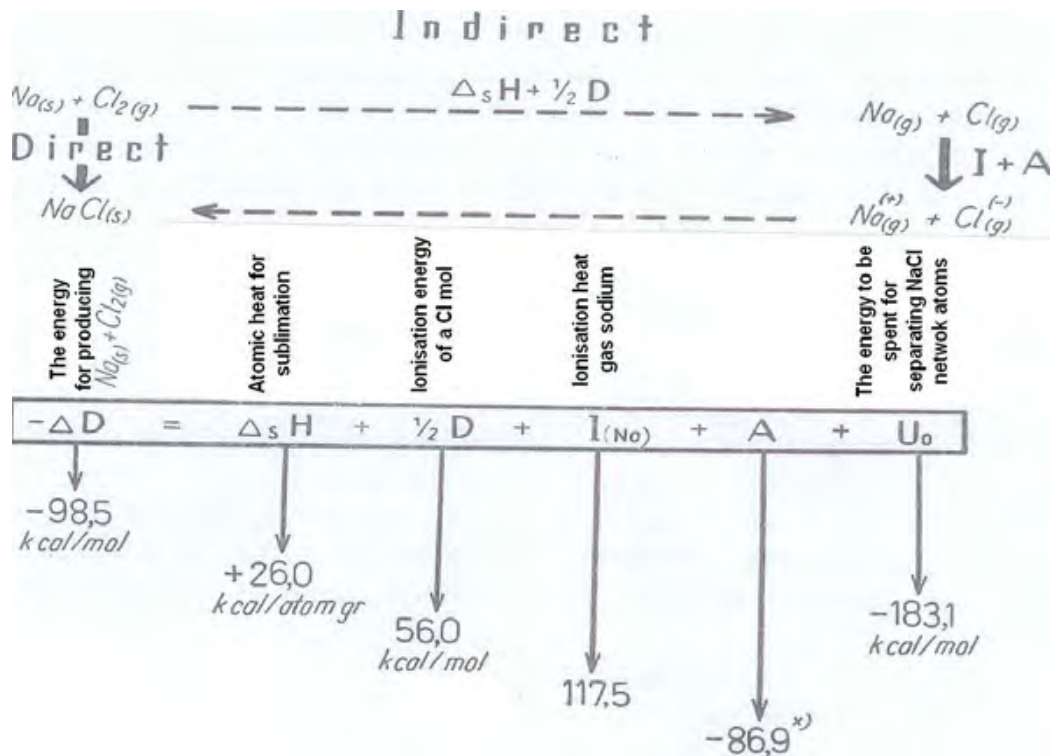


Fig 1. Haber Born cycle (after Mastacan Gh, Mastacan I., 1975)

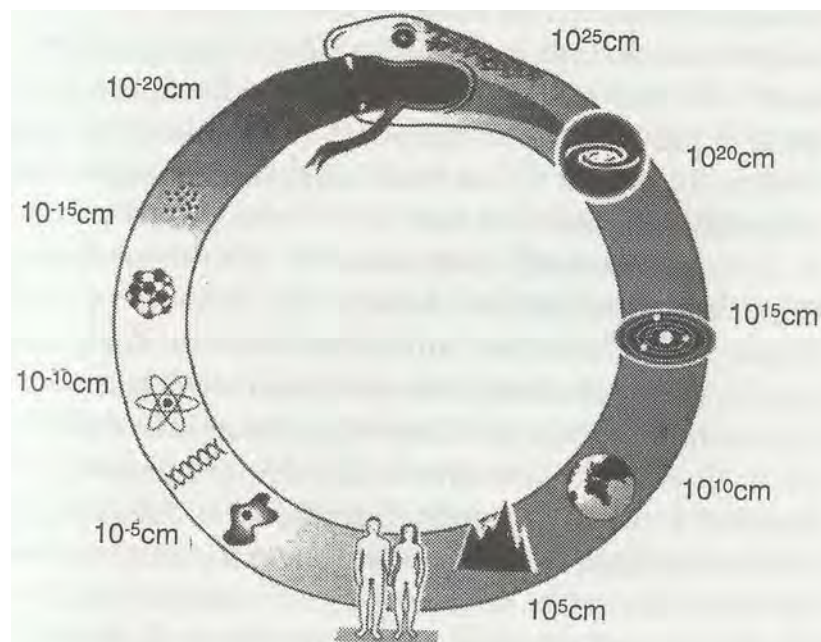






Fig 2. There are connexions between the microscopic world (particles, nucleus and atoms) – left – and the cosmos - right

It expresses material unity, which changes its form in an eternal cycle of collapse and recreation; the left half is the micro universe and the left one is the macro universe. Within certain periods of time endogene phenomena modify the earth crust, make up mountains, volcanic mountains, large continental and ocean depressions. Other periods of time are dominated by exogen phenomena, with erosions, transport and sediments. In time and space geological are characterised by a repeated succession which changes the place where it occurs. Newtonian, tridimensional space where sediment, crystal growth, recrystallisation erosion, physical and chemical alteration, transport and sediments happen, is a material space. All the above mentioned transformation occur in another dimension, the time, which flows uninterruptedly from the past towards the future. The elapse of time between two resembling phenomena is defined as a cycle. Each cycle is unique. Cyclity is present in all sedimentary rocks. An orogenic cycle in the geotectonic history of the Earth begins in geosinclinal regions and goes on to turn them into mountain. Afterwards they are eroded and become rigid regions making up the existing platforms. A geological cycle is similar to a galactic year which last for about 160-220 million years. At the geological time scale we can agree on the following galactic and geological cycles: 7 cycles corresponding to the Archaic (Laurention), 2 in Proterozoic, inferior (Algomian cycle) and superior (Assyntic or Baikalian cycle), The inferior Paleozoic (Cb-Dv) in the Caledonian cycle, The superior Paleozoic (C and P), the Hercinic cycle, the Mesozoic (Tr-Y), Mesozoic and Cretaceous cycle, The Quaternary (alpin cycle). The areas where large salt accumulations have been identified, sometimes accompanied by deliquescent salts of K and Mg are known in geology research as salt basins. The creation of the big salt basins represents a stage in the geological history of the Earth in which large areas on the globe had the same evolution in the same geological context. We can include in the category of the big salt basins: the Precaspian depression of the East European platform; the North Sea depression of the Central European platform; the Premexican depression (Gulf Coast), the depression of African platform. These basins resemble by a tectonic position similar sineclines of the platforms; the under ocean crust of the Earth; senses of accumulation; great depth up to 20-25km of the basis; the presence of thick salt deposits lying at great depth, covered by an extremely thick pile of sediment rocks. The Russian geology school include the following basins in the category of the big salt basins : Dnepr-Donet, Pripiatskii, Preural, Transcarpathic, Hatansk, Ciu-Sarisnick, Kampendiaisk. From the structural point of view, salt basins met: in platform regions (the North Sea, Preural, Michigan); rift regions(Donet, the great East African rift); on passive borders (Gabon); on active borders (restrained Asia, East Pacific); collision (Precaucasian, Carpathic) and intermountain (the Transylvania basin, Fergana). Tectonically, salt is characterised by a spectacular tectonic due to its great mobility under stress, when by deforming it can pierce or take along adjacent layers in a movement that determined structural changes.

#### **Precambrian salt**

The Persian Gulf basin. In the basin in the middle and south area of Iran, in Hormuz formation about 200 salt massifs were found. An important area is to be found in North Siberia.

#### **Permo-triassic salt**

The North Sea basin. It stretches on an area of 500,000km<sup>2</sup> and has a lithological column of 5-6km thick; salt levels of Zechstein (Permian) are 100-600m thick and supports the mesozoic and the tertiary cover.





The Preuralian basin. Lies in the south of the Russian Platform; it is also known as "Ural-Volga" province and continues northwards with Timan – Peciara province. Salt is 42-600m thick.

The North East Saharean basin It is a region stretching between Algeria towards the South of Tunisia and North – West of Libya. It is estimated that salt lenses stretch on an area of 200,000km<sup>2</sup> and the anhydrites about 340,000km<sup>2</sup>. Cretacic salt formation has a slight inclination from the West to East.

#### **Jurassic-Cretaceous Salt**

The Mexico basin. In the northern part of the Mexico Gulf, in the pre-mexican Depression of North America's platform an important 'tabular salt' mass from the Jurassic age covered an area of 200km<sup>2</sup>, having variable thickness: 1-3km. The number of salt diapires is almost 328.

The Congo-Gabon basin is also known as the Congo salt basin or as Gabon-Congo-Cabinda oil province and lies along the Atlantic coast of equatorial Africa (Angola, Gabon, Congo). The number of cretacic diapires is 240.

The Sergipe basin. Is located in the Brazilian continental tableland and is 30,000km<sup>2</sup>. Salt is cretaceous and is strato shaped.

#### **Miocene Salt**

Pericaspian basin has 1,750 salt structures with two main directions, one parallel to the Ural river and another one oriented North West to Kurev river (up to Elton lake)

The Red Sea basin. In the Red Sea rift and the Suez Gulf in structures of horst and graben type there are several salt diapires.

Oriental Carpathian outthrust basin. Was formed on an area between the Carpathians that were rising and the lands emerging from the foreland in front of them. In Romania two salt formations separated in the outthrust area: one from the inferior Burdigalian age and a Badenian one. Between the two salt formations there is the inferior melass that reaches 3000m thick. In Romania, in the outthrust area 60 salt massifs of Burdigalian age and 26 Badenian massifs were identified.

Transylvania Basin. It is made up of 114 Badenian salt massifs some of tens of km<sup>2</sup> wide. I considered the solar system position as to the galactic nucleus. Out of 25 rotations around the nucleus, we focused on rotations 22, 23, 24, and 25 – the geological time Proterozoic superior (1000-570 millions of years) – today. This interval was divided to 200 millions of years the time of a rotation and it was related to salt age of the big salt basins presented above. We have noticed that Miocene salt (the Pericaspian basin, the Red Sea basin, the inferior and superior formations from Romania) were formed in the same space of the galactic ellipses as the Permian salt (the North Sea basin, Preuralian and North-East Saharian). In the opposite point of the ellipse Jurassic/Cretacic salt (the Mexico, Congo – Gabon, Sergipe basin) and Precambrian salt (the North Siberian basin) were formed. It is appreciated that keeping this cyclicity the next period favourable to forming new salt massifs will be over 80-85 millions of years, but until then a part of the present massifs will disappear by being exploited, will be dissolved by the free water or they will be redistributed in tectonic context.

In 5 billions years time, the Sun will die and the Earth too, because its biggest galactic neighbour – Andromeda galaxy with which we form the same galactic swarm will collapse on the Milky Way. During this period of time there should be 20 more geological cycles in 20 galactic years. In one galactic year we can also differentiate other smaller galactic years such as:

-40 millions of years (E. Danois 1950) – when under cosmic influence the transgressions would be the result of internal tides of the Earth of an uncommon



amplitude, when the sialic mass would push the terrestrial crust resulting in its curving in the ocean region and waters would flood the coasts.

-26 millions years paleoecologically emphasised by D. Ramp and J.Sepkosky (1982) by repeating extinctions of numerous species of marine fauna, almost simultaneously.

-1-1.4 millions of years- the cyclity of magnetic phenomena

-4-500,000 years- with periodical magnetic inversions.

-100,000 years – the excentricity of the elliptic with volcano action slow cooling and sudden warming.

-80,000 years – Along the time, the poles axis inclination varies between  $63^{\circ}30'$  and  $68^{\circ}30'$  every 80,000 years

-40,000-41,000 years (Berger) polar axis obliquity

-19,000-23,000 years Trough equinoxes precissing with a 21,600 year cyclity one tried to explain the glacial eras in the Quaternary

-500-5,000 years cycles noticed on flysch deposits

-1,300-1,850 years (C.Snitnikov) 11 cycles of 165 years – the variation of the elements of terrestrial magnetism; the magnetic axis rotation around the pole axis.

-600 years – climate cycles.

-180 years – Dangaard cycles – with multiannual variations with paroxystic period in solar protuberances development, with periods of relative quietness, with solar stains extention accompanied by extremely strong magnetic fields and the decrease in intensity of the solar wind radiation flux.

-100 years – cycle C.Schwabe – Wolf – the sun's magnetic cycle. At intervalles of 20 years the day alternatively get longer and shorter with 3,6 miliseconds, wich can be explained by the shift in the gravity centre of the Earth.

-11 years- solar cycle with typical multiannual variations.

-1 year- annual cycle – the period of Earth's revolution movement.

-28 days- under the influence of the moon that revolves around the Earth in 27 days, 7 hours and 45' and 4" and has a revolution around its axes of in the same period; it determines the tides of the oceans and a brake of the Earth's rotation speed. With about 0.001-0.002 seconds a century.

-24 hours – The Earth's rotation results in the days and nights succesion.

Inside cyclity, both the macrocosmos and the microcosmos scale, there happen phenomena having a sudden impact which seem to interrupt the continuity characteristic. They are called hasards. The causes of these phenomena can be defined as natural agents (antropic hasard), cosmic factors (cosmic hasard) or their combination. Hasard may cause the man and his creation to be in danger for long or short term

Mining activities have developed in the last century both vertically and horizontally. In the areas where there are salt exploitations the proportion of empty spaces left behind are larger and larger and have various manifestations. In the underground activities the following can occur:

-Gas eruption. In salt mines there are liquid or gas hydrocarburs. The events they cause are spectacular. For instance in Mentzengraben Mine (Werra – Germany) the CO<sub>2</sub> eruption in 1953 were about 700.000m<sup>3</sup> and violently threw approximately 65,000t of salt. Violent eruptions also occured in Poland, in the derricks of the former Yougoslavia (Tuzla – 1,789m<sup>3</sup>/min) or in Austria. In Romania at Targu Ocna, in 1873 at Carol mines gas caught fire and burned in flames for 6 days melting the salt on 100m. 10 people died in the explosion.



Copt falls. It also happens that salt plates detach from the ceilings in salt exploitations and this is a real danger. On the 9<sup>th</sup> floor of Victoria Mine, at Slanic Prahova, Romania, 700t and then 4,000t of salt fell from the 8m high in 1988.

Fissures and breaks in elements of resistance. Resistance elements, pillars and floors respond differently to pressure, according to a series of local and general conditions. In order to estimate the high risk areas, static and dynamic calculation applications of finite element can be used. Numeric simulation in the dynamic domain creates models of deformed underground structures for different periods of time :1, 2, 3...10 years. Intervals of years have the advantage that these applications can be checked.

Water infiltration and floods in mines. For salt exploitations water has always represented a potential danger. In most cases water flooded salt exploitations and salt water lakes appeared as the result of ceilings collapse( In Romania: Slanic Prahova, Ocna Sibiului, Telega)

Land slides. These are complex events determined by physical, mechanical, geological, exploitation and cosmic causes. They are characterised by day and season variations. During the night there is relative stillness 3-4 times lesser than during the day. According to season, land slides have a maximum of evolution in spring months, after the snow has melt or in autumn in rainy periods.

Cover breaks. They always precede great hazard events underground. By carefully watching their evolution quite accurate predictions can be made

Hydrogeological changes in routes. By natural dissolving or as consequence of underground activities, hydrogeological changes in route may occur

## **Conclusions:**

- cyclities always occur both at the micro and macrocosmos scale
- due to the long time interval some cyclities happen we must turn to judgement based on hypothesis
- hazard phenomena have a repeated character in their essence but they occur at uncyclic time intervals.
- hazard effects belong to life evolution throughout the geological time.

## **Bibliography**

- Drăgănescu L.,1997.The Origin of Salt and the Genesis of the Salt Massives.Ed.Grafica Prahoveana.Ploiesti, 226p
- Mastacan.Gh.,1975. Mineralogie. Ed.Tehnica.Bucuresti , 410p.
- Raileanu Gr.,Pauliuk S.,1969, Geologie generala. E.D.P.Bucuresti., 462p.
- Ticleanu N.,1974. Tectonica sarii si rolul sau in formarea zacamintelor de hidrocarburi.University of.Bucharest.,42p.



## DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ATENUACIÓN SÍSMICA EN LAS ZONAS SISMOACTIVAS DEL ORIENTE DE CUBA

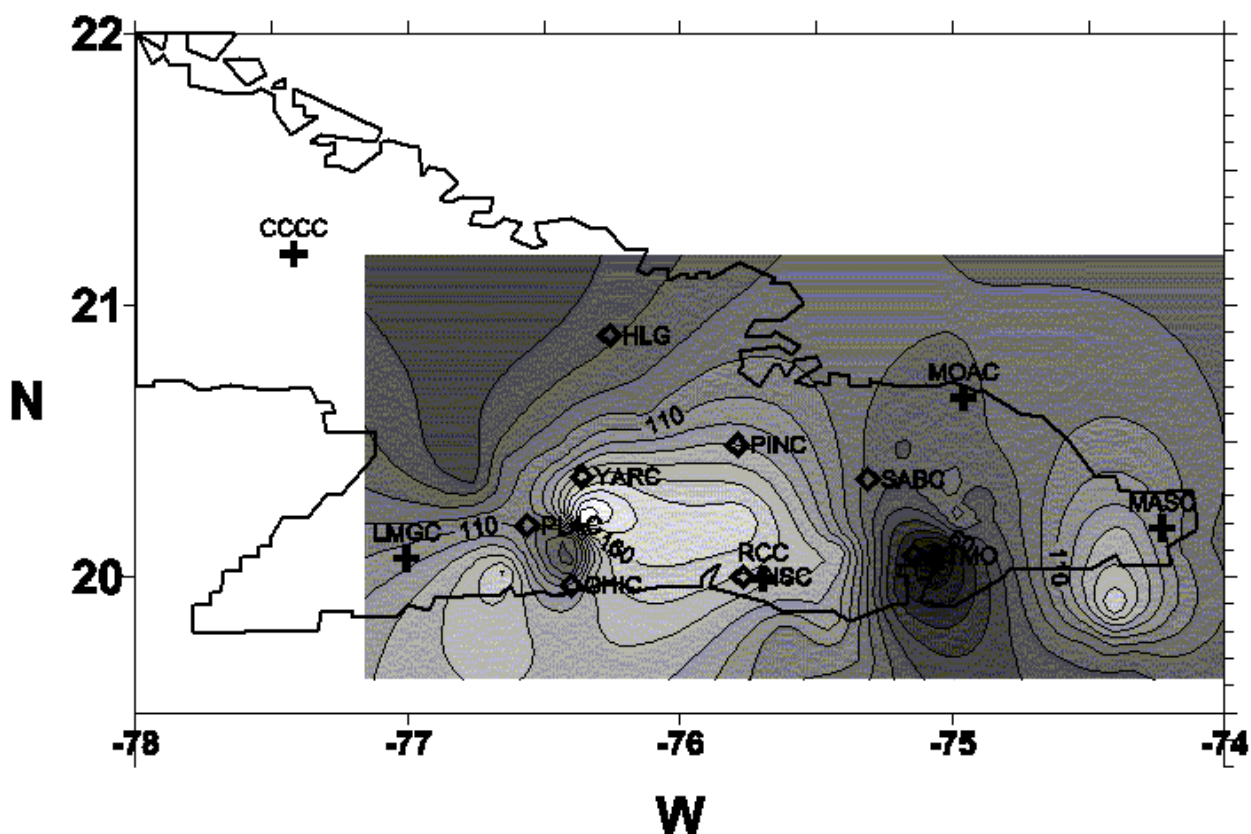
**Dra.C. Berta Biescas Górriz y Dr. C. Ing. José Alejandro Zapata Balanqué**

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 17 No. 61 entre 4 y 6. Vista Alegre, Santiago de Cuba. CP 90400. [berta@cenais.ciges.inf.cu](mailto:berta@cenais.ciges.inf.cu)

Durante muchos años en Cuba no se había enfrentado de manera profunda el estudio de la atenuación sísmica, en estos momentos presentamos un estudio de atenuación sísmica para la zona oriental de Cuba apoyados en la información que desde 1998 al 2003 ha generado la red sismológica digital cubana. Se realizó la selección de la información utilizando terremotos registrados por más de cuatro estaciones y bajo nivel de ruido. De los 618 sismos seleccionados fueron utilizados 247 registros que cumplían las características de calidad impuestas para el estudio (valor del coeficiente de regresión lineal mayor de 0.8).

Para el estudio de la atenuación de las ondas sísmicas a partir de las ondas de Coda, se decidió aplicar un método de dispersión simple, dentro de estos se estudiaron los de Aki y Chouet (1975) y de Sato (1977), considerándose este último el más adecuado según las características de los datos experimentales existentes.

Se presentan resultados para diferentes frecuencias y la regionalización se obtuvo mediante el método del punto medio donde los resultados son coherentes para una zona sísmica de alta actividad tectónica y se ajustan en cierta medida al patrón geológico tectónico de la región.





## **CARACTERIZACIÓN SISMOTECTÓNICA DE LA ZONA SISMOGENERADORA SABANA DEL NORTE DE CUBA ORIENTAL**

Maximiliano Nicolás Vega Garriga (1), Isabel Yamina Ríos Martínez (1)

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Departamento Provincial de Sismología Holguín

### **Resumen**

A partir del 20 de marzo de 1992 en la región minera de Moa, ubicada al este de la provincia Holguín, Cuba, se ha venido confrontando una intensa actividad sísmica no reportada anteriormente. En total se han registrado unos 40 terremotos perceptibles y más de 1850 de pequeño rango energético.

Investigaciones realizadas anteriormente en la zona de Moa, muestran que esta ciudad se encuentra muy cerca de las zonas sismogeneradoras de mayor peligro de la región oriental entre las que se destaca la zona sismogeneradora Sabana, a la cual se le estimó una potencialidad sismogeneradora de hasta 7.0 grados de magnitud Richter.

La zona Sabana es una franja que se traza por el litoral norte de la isla de Cuba y según diferentes autores representa el límite norte que separa los bloques del territorio cubano de la depresión del Canal Viejo de Bahamas, relacionándose con la falla del mismo nombre y al mismo tiempo su existencia y su potencialidad sismogeneradora por otros especialistas han sido cuestionadas.

En este trabajo se ofrece una caracterización sismotectónica de la zona sismogeneradora Sabana, sobre la reinterpretación de trabajos geológicos, geofísicos y sismológicos precedentes, evaluados a la luz de nuevos datos y concepciones. No se pone en duda la existencia de la falla Sabana pues existen suficientes datos y evidencias para afirmar su existencia aunque no se ha podido demostrar que su trazado sea continuo por todo el borde meridional de Cuba. Constituye a su vez una estructura compleja o sistema de fallas normales, escalonadas, muchas veces cortadas por fallas activas de menor orden que complican y desplazan esta estructura.



## Caracterización sismotectónica de la zona sismogeneradora Sabana del norte de Cuba Oriental

### Introducción

A partir del 20 de marzo de 1992 en la región minera de Moa, ubicada al este de la provincia Holguín, Cuba, se ha venido confrontando una intensa actividad sísmica la cual no había sido reportada anteriormente. En la última serie anómala de terremotos de Moa, se registraron más de 1850 sismos de pequeño rango energético y unos 24 sismos perceptibles, destacándose el del 28 de diciembre de 1998 que tuvo una magnitud de 5.4 Richter e intensidad VI MSK.

La región oriental se encuentra atravesada por varias zonas sismogeneradoras (ver figura 1) entre las que se destacan la zona sismogeneradora Oriente, capaz de generar sismos de hasta 8.0 grados de magnitud y a la que se asocian 22 terremotos de gran intensidad (Chuy, 1999) y la zona sismogeneradora Sabana que es capaz de generar terremotos con magnitudes de hasta 7.0 grados Richter.

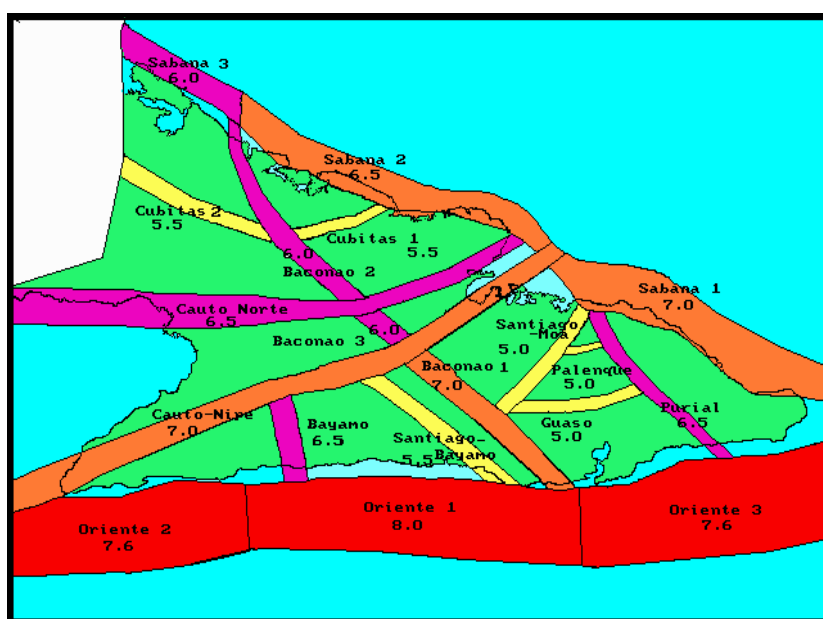


Figura 1 Mapa de zonas sismogeneradoras en la región oriental (Chuy et al, 1997).

La región minera de Moa se encuentra adyacente a la zona sismogeneradora Sabana y cercana a las zonas sismogeneradoras Purial, Guaso, Santiago-Moa y Palenque. Por tanto, estudiar las zonas sismogeneradoras causantes de esta actividad sísmica es uno de los objetivos fundamentales de las investigaciones geológicas, sismológicas, etc., que se vienen realizando. En este trabajo se presenta una breve caracterización sismotectónica de la zona sismogeneradora Sabana, sobre la base de la reinterpretación de trabajos geológicos, geofísicos y sismológicos precedentes, evaluados a la luz de nuevos datos y concepciones. Esta caracterización se hace necesaria pues la existencia de esta zona sismogeneradora y su potencialidad sismogeneradora ha sido cuestionada por diferentes especialistas cubanos.

Para el desarrollo del presente trabajo los autores se basaron, fundamentalmente, en los principales resultados de los informes Neotectónica y zonas sismogeneradoras de Cuba Oriental (Orbera, L., Lukaschin, A., Babaev, A., y otros, 1989) y Estudios geólogo-geofísicos marítimos y terrestres por método de ondas refractadas en el área de construcción de la central Nuclear Holguín (Colectivo de autores, 1991).

### Desarrollo

La zona sismogeneradora Sabana es una franja que se traza por todo el litoral norte de la isla de Cuba, que comienza en el Paso de los Vientos al este y se extiende hacia el occidente de la isla con una extensión de





unos 1050 km. Según diferentes autores, esta zona sismogeneradora representa el límite norte que separa los bloques del territorio cubano de la depresión del Canal Viejo de Bahamas.

Si analizamos la costa nororiental cubana nos damos cuenta del desnivel que forma la plataforma insular en las inmediaciones de esta costa, donde bruscamente aparecen grandes profundidades, existiendo diferentes elementos morfoestructurales de sur a norte:

- Una pequeña franja correspondiente al shelf de algunos pocos kilómetros de ancho.
- El talud continental que comienza con profundidades del orden de los 200 metros.
- El Canal Viejo de Bahamas, depresión marina que se extiende de este a oeste a todo lo largo del archipiélago cubano.
- El Banco o Plataforma de Bahamas, zona de aguas poco profundas, donde en ocasiones emergen islas e islotes entre los que encontramos la isla Gran Inagua.

La isla de Cuba, junto a las pequeñas islas del archipiélago cubano, es parte del arco insular contemporáneo de las Grandes Antillas. Dicho archipiélago está limitado al sur por las depresiones oceánicas profundas de Yucatán y de Caimán y al norte por la cuenca del Golfo de México y el Estrecho de las Bahamas, que lo separa de la plataforma de Bahamas.

Cuba está compuesta por complejos sedimentarios del Cuaternario, Neógeno, Oligoceno y del Eoceno Superior; formaciones magmáticas y sedimentarias del Eoceno Inferior y Medio, del Paleoceno, del Cretácico y del Jurásico y complejos metamórficos del Mesozoico y de edad no esclarecida, posiblemente Paleozoico o más viejos (Nagy E. et al, 1976).

Estos complejos se dividen claramente en dos pisos estructurales: uno Mesozoico-Terciario Inferior (pre Eoceno Superior) con una estructura plicativa y de sobrecorrimientos y un piso sobreyacente de edad Cenozoico Superior compuesto por una cobertura sedimentaria débilmente deformada. La cobertura sedimentaria sobreyace de forma discontinua a todas las zonas estructurales anteriores al Terciario Inferior y está compuesta por rocas terrígenas y carbonatadas de origen marino y continental las cuales como regla están débilmente deformadas.

Desde el punto de vista geológico Cuba puede ser dividida en dos grandes provincias (Draper G. y Barros J. A., 1994):

- Cuba Occidental y Central, constituida por un orógeno complejamente deformado resultado de la colisión de un arco de islas del Cretácico Medio-Tardío con rocas sedimentarias de edad Jurásico Superior-Cretácico Superior de la plataforma de Bahamas-Florida. Este evento ocurrido en el Cretácico Superior produjo la obducción del cinturón ofiolítico cubano y un cinturón de pliegues y fallas alargadas y vergencia hacia el norte. Estas rocas orogenéticamente deformadas están sobreyacidas por rocas sedimentarias relativamente no deformadas postorogénicas.
- Cuba Oriental desarrollada al sureste de la cuenca Cauto-Nipe, se caracteriza por el arco volcánico-plutónico complejo de edad Paleoceno-Eoceno Medio de la Sierra Maestra; al norte y este de la Sierra Maestra aparecen rocas ofiolíticas y del arco del orógeno Mesozoico, cubiertas por rocas tobáceas y sedimentarias del Paleógeno, estas últimas muy similares a las de Cuba Central. En esta provincia geológica, no aparecen rocas del margen continental. La sedimentación relacionada al tectonismo persistió hasta el Oligoceno.

Las rocas deformadas orogenéticamente de Cuba pueden ser divididas, convenientemente, en 5 grandes bloques o segmentos geólogo-estructurales, que de oeste a este son el bloque Pinar del Río, bloque Isla de la Juventud, bloque Cuba Central, bloque Camagüey y el bloque Oriental y estos a su vez, han sido subdivididos en las denominadas zonas estructuro-faciales, que pueden ser identificadas parcial o completamente en cada bloque y son cinturones o nappes limitados por fallas, que presentan características distintivas estratigráficas, paleogeográficas y metamórficas.



El bloque Camagüey está limitado del bloque de Cuba Central, por la zona de falla La Trocha al oeste y del bloque Oriental por la zona de falla Cauto al este, presentando las zonas estructuro-faciales Cayo Coco-Remedios, Zaza y el orógeno del Paleógeno.

El bloque Oriental, su geología difiere del de Cuba Central y Camagüey, pues en él no se conocen rocas de origen continental, excepto un pequeño afloramiento de rocas metamórficas. Presenta las zonas estructuro-faciales Purial, Mayarí-Baracoa y el orógeno del Paleógeno de la Sierra Maestra.

Para poder comprender que sucede en la actualidad en el lugar que ocupa la zona sismogeneradora Sabana, necesariamente tenemos que conocer cual ha sido la evolución tectónica de Cuba. Desde el punto de vista de la Tectónica de Placas, Cuba posee cinco componentes principales y cualquier explicación de su evolución tectónica, debe explicar el origen y condiciones estructurales presentes en estas unidades:

- 1-Un margen continental Jurásico-Cretácico Inferior y una secuencia de talud
- 2-Un complejo de arco de islas Cretácico Inferior-Superior
- 3-Depósitos del talud continental Jurásico
- 4-Complejo de arco de isla Paleógeno
- 5-Depósitos sedimentarios post-orogénicos del Eoceno Medio hasta el Reciente.

En diferentes investigaciones realizadas para explicar la evolución tectónica del Caribe y de Cuba se han propuesto variados esquemas; en muchos de estos, la falla Sabana objeto de nuestro estudio, ha sido representada como la frontera norte del megabloque Cubano. En la actualidad entre numerosos investigadores no hay unanimidad en cuanto a la detección y la posición de esta falla, caracterizada en la estructura de la isla.

A continuación nos referiremos a algunos trabajos científicos, donde se hace mención a diferentes rasgos geológicos, geofísicos, etc., de la zona de estudio, que nos permiten una caracterización sismotectónica de la zona sismogeneradora Sabana y sus elementos morfogenéticos relacionados espacialmente, shelf, talud, Canal Viejo de Bahamas y la Plataforma de Bahamas.

### **Rasgos sismotectónicos del límite norte del megabloque Cubano**

En los trabajos de búsquedas e investigaciones complejas para la selección del punto y del área de la Central Electronuclear de Holguín, L. Orbera, A. Lukaschin, A. Babaev y otros, 1989, luego de un estudio detallado de los trabajos anteriores, y basándose en diferentes autores (Pusharovski, 1967, Levchenko y otros, 1971, Shein y otros, 1978, Belousov y otros, 1983, Case y Holcombe, 1980, etc.), apuntaron que las fallas que limitan al megabloque cubano son de tipo transcortical, delimitando las regiones tectónicas con diferentes tipos de corteza, mencionando entre otras el sistema de fallas Norte Cubana o Sabana.

Según estos autores este sistema de fallas se extiende en forma de arco a lo largo del shelf norte de la isla y consta de una serie de fallas superpuestas escalonadamente, que se presentan como aisladas y vinculadas con zonas de dislocaciones dividiendo el meganticlinorio Cubano del Canal Viejo de Bahamas.

La mayoría de las fallas están expresadas en el relieve del fondo del mar como terrazas, taludes abruptos de hasta algunos cientos de metros, separando el shelf de las zonas de hundimiento brusco del fondo. Estas dislocaciones se muestran claramente en los perfiles sísmicos que pasan a través del shelf norte de la isla y según su morfología se presenta como una falla normal.

Establecieron la dislocación de los sedimentos, incluso los del mioceno, constatando así su actividad contemporánea al parecer hasta el cuaternario y expresaron que el Sistema de Fallas del Norte Cubano posee relación genética con el sistema de fallas de la fosa de Puerto Rico.

Plantean además que en los trabajos de la expedición marina V. Obruchev, investigación anterior a este trabajo, se estableció la existencia de una serie de rupturas de poca extensión de dirección NE que dificultan la caracterización de la zona de falla Sabana, debido a la estructura en bloques que presenta la misma, mereciendo especial atención la ruptura de Gibara de dirección NE detectada por datos geólogo-geomorfológicos y su extensión en el mar por datos batimétricos.



Consideraron a la falla Sabana de categoría cortical no profunda, que disloca los sedimentos miocénicos, apuntando además que dicha falla se formó a lo largo del shelf norte de Cuba como consecuencia de las elevaciones débiles de la isla.

Respecto a la valoración sismogeneradora de la falla Sabana y zonas de posibles epicentros de terremotos en Cuba Oriental por datos geofísicos, nos relatan que la zona de posibles focos de terremotos Sabana coincide con la disyunción del mismo nombre y se ubica en el mar extendiéndose por la franja a lo largo del litoral norte de la isla de Cuba.

La zona sismogeneradora que acompaña a la falla Sabana, de acuerdo a la posición y morfología de la ruptura que la compone, tiene una amplitud de 10 a 15 km., es bastante abrupta y cae en dirección norte. Esta ruptura ocupa una alta posición como frontera limítrofe que separa, en general, el Bloque Cubano del Canal Viejo de Bahamas al norte.

Entre los resultados fundamentales de este trabajo están:

- En el Mioceno comenzó la etapa más joven del desarrollo geológico de Cuba Oriental. Los nuevos movimientos, sobre todo los verticales, en la región investigada surgieron en forma diferente en el área, en cuanto a signo e intensidad, lo que dio lugar a una división de este territorio de la isla en un sistema de bloques tectónicos con diferentes particularidades del régimen de desarrollo. Las fronteras de estos bloques tienen una naturaleza disyuntiva.
- El proceso neotectónico está acompañado por un número significativo de dislocaciones de ruptura y también de activación de algunos planos de ruptura. Las rupturas sismogénicas y las zonas de posibles focos de terremotos que a ellas corresponden, se subdividen en categorías según su capacidad sismogeneradora, valorada por el parámetro magnitud.
- Las zonas sismogénicas de tercera categoría están vinculadas a las fallas Sabana y Palma.
- La zona de posibles focos de terremotos Sabana se extiende a lo largo de la dislocación del mismo nombre que limita el megabloque Cubano por el norte. Por las particularidades de la constitución de esta falla a lo largo de su extensión se observan sectores con diferentes capacidades sismogeneradoras, siendo el sector más oriental capaz de provocar terremotos de hasta 6.5 grados de magnitud.

Diferentes estudios geólogo-geofísicos marítimos y terrestres fueron realizados en el área de construcción de la Central Electronuclear Holguín (Colectivo de autores, 1991) y algunos de sus principales resultados son los siguientes:

- La corteza del Canal Viejo de Bahamas es de tipo suboceánico (cercano a la costa de la provincia Holguín).
- La zona de empalme del bloque Holguín y el Canal Viejo de Bahamas tiene corteza de tipo subcontinental.
- La zona Holguín tiene corteza de tipo continental.
- La estructura del Canal Viejo de Bahamas se caracteriza por tener una potencia de la corteza de aproximadamente 15-16 km, perteneciente a las formaciones sedimentarias cerca de 4-5 km y el resto a las formaciones efusivas y la corteza consolidada representada por basitas.
- Los cortes del Canal Viejo de Bahamas y la Depresión Cauto-Nipe son muy parecidos y esto se explica por el hecho de que la zona Holguín, está marcada por el sur y norte por zonas de extensión de la corteza, de las cuales la sur está completamente compensada por sedimentos y la norte solo rellena por la mitad del material sedimentario.
- La ausencia de trazas de derrumbe de corteza continental y la formación de fallas lítricas u otras estructuras escalonadas son un indicio seguro de la formación relativamente joven de la estructura del Canal Viejo de Bahamas.
- La discontinuidad Mohorovich, en el Canal Viejo de Bahamas se encuentra a 5.5 km de profundidad, debajo de la costa a 8 km y a 5 km tierra adentro, a una profundidad de 9.0 km.
- Existen estructuras disyuntivas, pero no están relacionadas con hundimientos consecutivos de las formaciones carbonatadas del bloque Gibara hacia la zona del Canal Viejo de Bahamas.



- Suponen un modelo relativamente tranquilo de evolución tectónica de la región estudiada según la cual el Canal Viejo de Bahamas luce como una estructura residual.
- Consideran a la zona de fractura Sabana como una cadena de fallas débilmente desarrolladas, tal vez de tipo lítrico que no desempeñan un papel considerable en la estructura general de la zona de empalme de la corteza continental y oceánica en el norte de la provincia de Holguín.
- Que en el área examinada se han destacado cuatro tipos de cortezas. En dos bloques en tierra tiene espesor continental reducido; en el espacio acuoso se encuentra el bloque de corteza oceánica y entre los bloques de Gibara y oceánico se destaca el bloque de corteza transitoria que se corresponde con el declive continental. Los bloques Gibara, transitorio y oceánico quedan divididos por una fracturación con ángulo de buzamiento de alrededor de 15 grados hacia el espacio acuoso.

En 1991, se creó una comisión de investigadores prestigiosos en el campo de la geología, la geofísica y la sismología, entre otros, para dictaminar la existencia de las zonas sismogeneradoras, sobre la base de los trabajos precedentes y la experiencia de los especialistas y estos reconocieron plenamente la existencia de la zona sismogeneradora Sabana, dándole categoría 2 por originarse en ella terremotos con magnitud de hasta 7.0 Richter (Chuy et al, 1997).

Estos investigadores consideraron que la misma se asocia a la falla Sabana, con extensión de más de 1000 km y desplazamientos de hasta 300 m de salto vertical. La estructura se presenta en forma de bloques dislocados por fallas internas, con dirección SW-NE. Se detecta, generalmente, como un escalonamiento de fallas normales con buzamiento NE, separadas de 10 a 15 km. Su edad se considera postmiocénica. Constituye un límite del sistema tectónico interplaca y presenta un contraste significativo, entre el borde nororiental del megabloque Cubano y la depresión submarina del Canal Viejo de Bahamas y la actividad sísmica de esta zona como significativa en volumen y que se distribuía fundamentalmente en los lugares de intersección con las fallas que la cortan.

#### Sismicidad de la zona sismogeneradora Sabana

A continuación se muestra una tabla donde se recogen los datos sísmicos de los eventos perceptibles, reunidos y recopilados históricamente, desde el siglo 1502 hasta el 2001, asociados a la zona sismogeneradora Sabana.

Terremotos perceptibles asociados a la zona sismogeneradora Sabana					
No	Fecha	Latitud Norte	Longitud Oeste	Magnitud	Localidad
1	1528	20.50	74.50	6.0	Baracoa
2	14/2/1852	21.00	76.20	¿?	Gibara-Holguín
3	19/2/1852	21.00	76.20	¿?	Gibara-Holguín
4	27/2/1852	21.00	76.20	¿?	Gibara-Holguín
5	1909	21.12	76.13	3.6	Gibara
6	28/2/1914	21.22	76.17	6.2	Gibara
7	11/2/1916	21.10	76.48	3.6	Gibara-P. Padre-San Agustín
8	1920	20.66	75.27	2.7	Cayo Mambí
9	1935	20.34	74.50	3.5	Baracoa
10	1938	20.70	74.10	5.6	Baracoa-Gran Inagua
11	1939	21.12	76.13	3.0	Gibara
12	1944	20.34	74.50	3.3	Baracoa
13	15/12/1944	20.50	75.70	4.7	Sagua de Tánamo
14	1946	21.12	76.13	2.9	Gibara
15	3/9/1946	20.34	74.50	3.5	Baracoa
16	1951	21.55	77.27	3.0	Nuevitás
17	1952	21.55	77.27	3.0	Nuevitás
18	1958	21.12	76.13	3.0	Gibara
19	26/5/1960	21.55	77.27	3.2	Nuevitás
20	22/2/1962	20.34	74.50	3.2	Baracoa
21	23/4/1962	20.34	74.50	4.0	Baracoa
22	1966	20.66	75.27	2.7	Cayo Mambí



23	1970	20.30	73.80	4.4	Este Maisí
24	1973	21.58	76.60	4.2	Norte Puerto Padre
25	7/8/1973	21.55	77.27	2.8	Nuevitas
26	11/3/1980	21.28	76.48	3.9	Puerto Padre
27	¿?/11/1980	20.34	74.50	2.6	Baracoa
28	1992	20.62	74.62	4.3	Nordeste Moa
29	1998	21.01	74.62	5.4	Nordeste Moa
30	1998	20.90	74.48	4.0	Nordeste Moa
31	1999	21.00	74.74	4.0	Nordeste Moa
32	1999	20.98	74.77	4.0	Nordeste Moa
33	2001	20.54	73.63	4.0	Maisí-Gran Inagua

Datos tomados del catálogo de terremotos perceptibles y fuertes reportados por Chuy (1999, 2003).

El mayor de los terremotos conocidos en la zona Sabana tuvo una magnitud de 6.0 (Gibara, 1914). La mayor actividad sísmica conocida y registrada relacionada espacialmente, y con dudas genéticamente, a la zona sismogeneradora Sabana es la ocurrida con la serie de Moa que se inició el 28 de diciembre de 1998. Se observa además la existencia de actividad sísmica, asociada al margen norte cubano hacia el occidente, de bajos valores energéticos indicadores de la presencia actividad tectónica (Colectivos de autores, 1999). En la región de Gibara se han reportado 10 terremotos perceptibles.

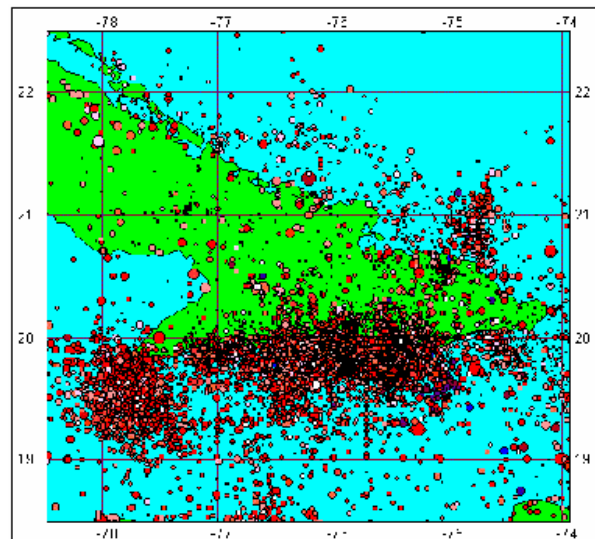


Figura 2 Mapa de epicentros de terremotos registrados por la Red de Estaciones del Servicio Sismológico Nacional del CENAI (1502 – 2003)

Sobre la base del estudio de los mecanismos focales para el evento principal ocurrido en el mar (28/12/98 y magnitud 5.4), diferentes investigadores muestran diversas interpretaciones sin una coincidencia en los resultados. Para la solución de falla tipo inversa unos han interpretado que la falla Sabana está sufriendo una deformación compresiva probablemente como resultado del contacto entre la Plataforma de Bahamas y el bloque Cuba (Moreno B. 2002). Para la solución de falla tipo strike slip se consideró que la dirección de ruptura que dio origen a esta serie está relacionada con la prolongación hacia el norte de una estructura tectónica de dirección Caimán, paralela o subparalela a Cauto-Nipe, de deslizamiento lateral, que se manifiesta en la superficie del basamento, derivada o de plumaje de la zona de fallas transformante Bartlett-Caimán (Arango E. D, 1999).

Los autores del presente trabajo consideran que el estudio de los mecanismos focales es un método importante pero no puede considerarse el único o definitorio para interpretar los tipos de fallas, debiendo conjugarse con los estudios geólogo-geofísicos y es discutible tanto más que para un mismo evento las soluciones son diferentes como las aquí señaladas.





Estimamos que no existen datos para afirmar sobre deformaciones compresivas en esta región en la actualidad y aunque la suposición de una falla de plumaje en dirección paralela a Cauto-Nipe, desde el punto de vista geólogo- tectónico es posible, se necesitaría de datos y estudios complementarios para que pasara a ser de una suposición a algo comprobado. Una vez más se demuestra la importancia de la caracterización sismotectónica de todas las zonas sismogeneradoras del país.

## Conclusiones

1. De los trabajos analizados, los realizados para la ubicación de la Central Electronuclear de Holguín constituyen los mejor fundamentados en el campo de la sismotectónica del territorio estudiado ya que aplicaron un complejo de métodos geológicos, geomorfológicos y geofísicos para la caracterización de los sistemas de fallas.
2. Sobre la existencia o no del sistema de fallas del norte de oriente, estimamos que existen datos y evidencias suficientes para afirmar de su existencia, pero que al ser una estructura submarina, joven en su estadio inicial de desarrollo, su determinación no es tan sencilla como para las estructuras terrestres. Esta dificultad ha generado dudas sobre su existencia.
3. No se ha podido demostrar que el trazado de esta falla sea continuo por todo el borde septentrional de Cuba, ya sea por ser una estructura compleja de fallas escalonadas, muchas veces cortadas por fallas activas de menor orden, de dirección NE, que complican y desplazan esta estructura y por lo dificultoso de su estudio submarino.
4. La sismicidad asociada a la zona sismogeneradora Sabana es alta, pero mucho más baja que la del sur de Oriente y la energía de los sismos es comparativamente débil, los focos sísmicos son de poca profundidad y su repetición en el tiempo es poco frecuente.

## Bibliografía

- Arango E. D (1999): Análisis sismotectónico de la zona de origen de la serie de terremotos de diciembre 1998-julio de 1999 al nordeste de Moa. Reporte de Investigación. Fondos del CENAIIS
- Case J. E. and Holcombe T. L. (1980): Geologic-tectonic map of the Caribbean region: US Geological Survey, Miscellaneous Investigations Series Map I-1100, scale 1: 2 500 000.
- Case J. E. and Holcombe T. L., Martin R. G. (1984): Map of geology provinces in the Caribbean Region. Geological Society of America Memoir 162,
- Case J. E., MacDonald W. D., Fox P. J. (1990): Caribbean crustal provinces; Seismic and gravity evidence. In: The Geology of North America, Vol. H. The Caribbean Region. Geological Society of America.
- Chuy et al (1997): Dictamen Conclusivo. Comisión Ad-hoc para la determinación de las Zonas Sismogénicas de la región Oriental de Cuba y zonas aledañas. En: Revista Electrónica "Ciencia en su PC", Santiago de Cuba.
- Chuy, T. J. (2001): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad Sísmica. En: Revista "Geología y Minería", ISMMM, Vol. XVII, No. 4. En: Memorias del IV Congreso de Geología y Minería y IV Taller Internacional de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente GEOMIN 2001. Centro Nacional de Información Geológica. Ciudad de la Habana.
- Chuy, T. J. (1999): Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad y Microzonificación sísmica. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del MES, IGA y CENAIIS.
- Chuy, T. J. (2000): Estimados de peligrosidad y microzonación sísmica de Cuba utilizando terremotos perceptibles. En: Sismos perceptibles, Peligro y Vulnerabilidad Sísmica en Cuba. Editorial Academia. La Habana.
- Chuy, T. J. (2003): Caracterización del proceso de liberación de las deformaciones en las principales zonas sismogénicas de Cuba. En: Memorias del V Congreso de Minería y Geología GEOMIN 2003, Ciudad de la Habana.
- Chuy, T. J. (2004): Terremotos fuertes y peligrosidad sísmica de Cuba. En: Memorias de la 12 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura (III TIARD) ISPJAE. Cuba.
- Colectivo de autores (1991): Estudios geólogo-geofísicos marítimos y terrestres por método de ondas refractadas en el área de construcción de la central Electronuclear Holguín.
- Colectivos de autores (1999): Serie de terremotos de Moa desde el 28-12-98 al 19-01-99. Reporte del Sistema del Servicio Sismológico Nacional, Fondos del CENAIIS.





- Cotilla M. O., Álvarez J. L. (1998): Esquema de regionalización del potencial de amenaza geológica en Cuba. Revista Geofísica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. No.49.
- Cotilla M. O., et al (1996): Una valoración sismotectónica de Cuba. Revista Geofísica. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. No.45
- Draper G. y Barros J. A (1994): Cuba. In: Caribbean Geology: An Introduction; U.W.I. Publishers Association. Kingston.
- Lewis J. F. and Draper G. (1990): Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. In: The Geology of North America, Vol. H. The Caribbean Region. Geological Society of America.
- Moreno B. (2002): The New Cuban Seismographic Network, Seismological Research Letters, Vol. 73, No. 4.
- Nagy E. y otros (1976): Informe de los trabajos de levantamiento geológico para el mapa en escala 1: 250 000 del territorio de la antigua provincia de Oriente. ACC.
- Orbera L., Lukaschin A., Babaev A., y otros (1989): Neotectónica y zonas sismogeneradoras de Cuba Oriental. En: Informe de los trabajos sismológicos Libro 3, Parte 1/1. Investigaciones geológico-tectónicas del territorio de Cuba oriental y en la región de ubicación de los puntos No. 2 y 10 de la CEN Holguín. Fondos del CENAI.



**A COMPARATIVE APPROACH TO MAKRAN (IRAN – PAKISTAN) SEISMOLOGY AND  
FREED ENERGY OF THE AREA.**

Valipour, Ardalan (Dr), Aghabeygi, Massoud (M.Sc), Valipour, Ebrahim (Dr)

IRAN, Islamic Azad University of Mashad, Department of Geology

The character of convergence along the Arabian-Iranian plate boundary changed radically eastward from Zagros ranges to the Makran region. To the east of the Strait of Hormuz, the subduction of what is apparently oceanic lithosphere in the Gulf of Oman, has resulted in the very different tectonic character of the Makran ranges in Iran and southwestern Pakistan exhibits strong variation in seismicity between its eastern and western segments and has one of the world's largest forecast. In this research recent and past seismicity of the Markan region were analyzed and compared the loci of seismic and aseismic slip along the plate boundary slip. In eastern Makran, the Posni-Ormara zone is similar to a mature seismic gap. Two significant or probable precursor earthquakes in this region has occurred. Also foci migration of background seismicity of Pasni zone tend toward the north-west region. These are evidences showing that there is probably a regional preparation for occurrence of great events in future.

Most earthquakes in western Makran occur within the downgoing plate at intermediate depths. In contrast to the east, the plate boundary in western Makran has no clear records of historic great events, nor modern instrumentation detected any shallow thrust event. In Iran deepening of depth of events indicates that Benioff zone continues to the volcanic arc of Bazman-Taftan-Soltan.

The Markan subduction zone of eastern Iran and southwestern Pakistan has a relatively low level of seismicity with few earthquakes sufficiently large for source parameter determination and infrequent large or great events.



## **CARTOGRAFÍA DE ZONAS DE PELIGRO POR EROSIÓN E INUNDACIÓN PROVOCADAS POR PRECIPITACIONES EXTRAORDINARIAS EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA EL SALTO, CABO SAN LUCAS, B.C.S., MÉXICO**

Humberto Rojas Soriano, Javier Gaitán Morán, Alejandro D. Alvarez Arellano, César Martínez Noriega y Paulino Rojo García

*Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. hrojas@uabcs.mx*

La zona de estudio es una región afectada por huracanes y tormentas tropicales que se generan anualmente en el Océano Pacífico, estos fenómenos naturales provocan inundaciones, erosión y acumulación de sedimentos en la parte baja de la cuenca hidrológica El Salto. Esta zona ha tenido un desarrollo turístico importante en los últimos años, esto ha provocado un aumento de la población, la cual se ha asentado en áreas que son de peligro, cuando la región es afectada por estos fenómenos meteorológicos. El objetivo principal del estudio es elaborar la cartografía de las zonas de peligro, que se encuentran en la cuenca. En la etapa de gabinete se generaron diversos mapas temáticos del medio físico (geología, geomorfología, hidrología, etc.), tomando como base fotografías aéreas del área y cartografía básica existente. En diferentes salidas de campo se verificaron y corrigieron los mapas generados en gabinete, esto con la ayuda de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) lo cual permitió georeferenciar la información de campo. Analizando la información de campo y gabinete del medio físico e incorporando datos del medio biótico y socioeconómico, se determinaron de manera preliminar áreas potencialmente peligrosas para desarrollos habitacionales,



## **SISMICIDAD LOCAL RECIENTE REGISTRADA POR LA RED SISMOTELEMÉTRICA DEL VALLE DE MÉXICO**

Julio Cuenca (1), Miguel Rodríguez (1)

(1) Instituto de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México

La red sismotelemétrica del valle de México (SISMEX) ha registrado en forma continua la sismicidad local desde el año de 1973 con equipo original del Instituto de Ingeniería. Actualmente se esta realizando su renovación con el fin de mejorar su rango dinámico y que sea información de buena calidad para los sismólogos pese a tener un número limitado de estaciones, con este propósito se realizó mediciones de ruido para conocer las amplitudes del movimiento del terreno dentro de la ciudad de México y se instalará nuevas estaciones. Uniendo Información de otras redes (RSVM) se tiene que entre enero y junio de 2004, diez de 22 sismos locales fueron registrados en por lo menos en tres estaciones. SISMEX registró 4 eventos locales en enero y disminuyendo a 1 evento mensual en febrero y marzo y 7 eventos locales en abril, y de mayo hasta septiembre aumento gradualmente de 2 a 6 eventos mensuales para luego decaer a 3 y 4 eventos por los meses de octubre y noviembre respectivamente y luego ocurrir 7 eventos en diciembre del 2004. Los epicentros pueden tener incertidumbres cercanas a 5 km. La mayoría de la sismicidad cae dentro de los 10 km de profundidad y magnitudes  $M_c=2$  pueden registrarse a distancias epicentrales menores a 12 km. En años anteriores muchos eventos están localizados en los alrededores del valle de México, otros son del volcán Popocatepetl, pocos de explosiones y algunos localizados dentro de la zona urbana del D.F. (Distrito federal) la ciudad capital de México, con algún riesgo local y aun no se ha descifrado su potencial sísmico local asociado a posibles fallas geológicas enterradas.



## CRUST AND UPPER MANTLE STRUCTURE IN THE CARIBBEAN REGION BY GROUP VELOCITY TOMOGRAPHY AND REGIONALIZATION.

**O'Leary González<sup>1,2</sup>, Leonardo Alvarez<sup>1,2</sup>, Giordano Chimera<sup>3</sup> and Giuliano F. Panza<sup>2,3</sup>**

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba. Calle 17 # 61. Rpto. Vista Alegre, Santiago de Cuba. Cuba 90400. [oleary@cenais.ciges.inf.cu](mailto:oleary@cenais.ciges.inf.cu)

(2) The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, SAND group, Strada Costiera 11, Trieste 34014, Italy, (3) Department of Earth Sciences, University of Trieste, via Weiss 4, Trieste, Italy.

An overview of the crust and upper mantle structure of the Central America and Caribbean region is presented as a result of the processing of more than 200 seismograms recorded by digital broadband stations from SSSN and GSN seismic networks. By FTAN analysis of the fundamental mode of the Rayleigh waves, group velocity dispersion curves are obtained in the period range from 10 s to 40 s; the error of these measurements varies from 0.06 and 0.10 km/s. From the dispersion curves, seven tomographic maps at different periods

and with average spatial resolution of 500 km are obtained. Using the logical combinatorial classification techniques, eight main groups of dispersion curves are determined from the tomographic maps and eleven main regions, each one characterized by one kind of dispersion curves, are identified. The average dispersion curves obtained for each region are extended to 150 s by adding data from the tomographic study of [3] and inverted using a non-linear procedure. As a result of the inversion process, a set of models of the S-wave velocity vs. depth in the crust and upper mantle are found.

In six regions, we identify a typically oceanic crust and upper mantle structure, while in the other two the models are consistent with the presence of a continental structure. Two regions, located over the major geological zones of the accretionary crust of the Caribbean region, are characterized by a peculiar crust and upper mantle structure, indicating the presence of lithospheric roots reaching, at least, about 200 km of depth.



## **MICROZONACIÓN SÍSMICA MEDIANTE LA CLASIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES RELATIVAS SUELO/ROCA EXTRAÍDAS DE SISMOGRAMAS SINTÉTICOS**

Leonardo Alvarez (1), Ramón Pico (2), Franco Vaccari (3), Giuliano F. Panza(3)

(1)Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Cuba

(2)Instituto de Cibernética, Matemática y Física, Cuba

(3)Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Trieste, Italia

La realización de una microzonación sísmica requiere del uso de una multiplicidad de datos, los cuales deben ser combinados adecuadamente para obtener una división del territorio estudiado en zonas cuasihomogéneas en función de los valores que toman en ella los distintos parámetros extraídos de los datos utilizados. Cuando para realizar esto se dispone de historias temporales de terremotos, ya sean sismogramas reales o sintéticos, la multiplicidad de parámetros que pueden ser extraídos de ellos, lejos de facilitar el trabajo, lo dificulta enormemente, pues no todos se comportan igual cuando se pasa de un punto a otro. En el presente trabajo se discute el uso de algoritmos de clasificación lógico-combinatorios para resolver este problema, sobre la base de un conjunto de sismogramas sintéticos calculados a lo largo de 6 perfiles que atraviesan la ciudad de Santiago de Cuba, para terremotos ocurridos en la fosa de Bartlett, a 20 Km de profundidad y ubicados frente a la ciudad, a unos 30 Km de distancia del inicio de los perfiles. El método de cálculo de dichos sismogramas es conocido en la literatura como "híbrido": se calculan las señales desde la fuente hasta el inicio de los perfiles usando suma modal para un medio lateralmente homogéneo, y dentro de los perfiles usando un esquema bidimensional de diferencias finitas. Se considera que para realizar una microzonación sísmica lo importante es calcular cocientes suelo/roca, por lo que para cada punto de los perfiles, además del cálculo por diferencias finitas usando la estructura real de la cuenca, se hace uno semejante usando la estructura regional lateralmente homogénea. Usando estos sismogramas se calculan los cocientes relativos 2D/1D (suelo/roca) de un conjunto de parámetros del movimiento del terreno ( $D_{\max}$ ,  $V_{\max}$ ,  $A_{\max}$ , DGA,  $I_A$ , etc.) y dos funciones relativas (cociente de espectros de respuesta  $RSR(f)$  y cociente de espectros elásticos energéticos  $E_I R(f)$ ).

El análisis se realizó sobre 105 puntos muestreados a lo largo de los 6 perfiles, para 9 conjuntos de datos iniciales, en los que quedó conformado el problema a resolver mediante clasificación. Esta se realizó usando dos métodos, conjuntos compactos y componentes conexas. En un primer paso, cada uno de esos 9 conjuntos fue clasificado, y sus resultados muestran la distribución espacial del movimiento del terreno por componente de movimiento y tipo de efecto representado. En un segundo paso, se usaron como datos de entrada los resultados de esa primera clasificación, cuyos resultados constituyen de hecho una clasificación del comportamiento integral del movimiento del terreno para cada punto. Los grupos de puntos formados se caracterizan por tener un comportamiento cuasihomogéneo del movimiento del terreno. A esto se añadió la información existente sobre la geología de la cuenca de Santiago de Cuba y finalmente se preparó un esquema de microzonación sísmica para dicha ciudad.





## **RÉGIMEN SÍSMICO DE LAS PRINCIPALES ZONAS SISMOACTIVAS DE LA REGIÓN ORIENTAL DE CUBA. PERÍODO 1998 A 2003.**

**Dr. C. Ing. José Alejandro Zapata Balanqué**

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 17 No. 61 entre 4 y 6. Vista Alegre, Santiago de Cuba. CP 90400. [zapata@cenais.ciges.inf.cu](mailto:zapata@cenais.ciges.inf.cu)

### **RESUMEN**

La necesidad del estudio periódico del régimen sísmico de las zonas sismocativas posibilita el conocimiento de su potencialidad, los parámetros de su actividad y su liberación energética. En Cuba a pesar de la existencia de registros sismológicos, no se han regularizado estos estudios, siendo el último de ellos el realizado durante las investigaciones para proyecto en los sitios seleccionados para la Central Electroenergética del Norte de Oriente (1990) y de la Central Hidroenergética Toa – Duaba (1992) ambas en la zona oriental del país.

La zona seleccionada para el estudio es la comprendida desde los 19.3 a los 22.0 grados de Latitud Norte y los 74.0 a los 78.0 grados de Longitud Oeste, que comprende las zonas de Santiago – Baconao, Guantánamo – Maisí, Cabo Cruz – Pilon y Moa Purial como sectores donde han ocurrido 23 de los 28 terremotos fuertes de la historia sísmica cubana.

En este estudio, se presentan los resultados de la evaluación anual del régimen sísmico (años 1998 a 2003) de la región oriental de Cuba con la información registrada por las estaciones del Servicio Sismológico Nacional Cubano, utilizándose como elementos de partida la ubicación espacial de los terremotos, sus magnitudes, profundidades, curvas de descarga energética y sus relaciones magnitud frecuencia. La evaluación de estos estadígrafos permite el análisis del comportamiento espacio temporal de la actividad sísmica. Se introducen comparaciones con determinaciones realizadas anteriormente (1979 – 1989) y se evalúan ajustes producto de los cambios de la cobertura del sistema durante la etapa de estudio.

### **ABSTRACT**

The necessity of the seismic regime periodic study in the seismoactives zones facilitates the knowledge of its potentiality, the parameters of its activities and its energy release. In Cuba in spite of the existence of seismological registers, these studies have not been regularized, being the last of them the one carried out during the researches in the selected sites for the “Northern Oriente Power Plant” (1990) and of the “Toa – Duaba Power Plant” (1992), both in the eastern region of the country.

The selected site for the study is from North Latitude 19.3 to 22.0 degrees and West Longitude 74.0 to 78.0 degrees, understanding Santiago - Baconao, Guantánamo - Maisí, Cabo Cruz - Pilon and Moa - Purial areas, like sectors where occurs 22 from the 28 large earthquakes of the Cuban seismic history. The results of the annual valuation of the seismic regime are presented (from 1998 to 2003) of the Eastern region of Cuba with the information registered by the stations of the Cuban National Seismological Survey, basing on the space location of the earthquakes, their magnitudes, depths, energetic release curves and their magnitude - frequency relationships. The valuation of these statistician parameters allows the analysis of the behavior of seismic activity. Comparisons are introduced with determinations carried out previously (1979 - 1989) and adjustments caused for changes in the seismological system during this period are evaluated.



## INTRODUCCION

El análisis de la relación magnitud - frecuencia espacial y temporalmente posibilita conocer el comportamiento de la sismicidad y potencialidad de una zona sismoactiva aportando los parámetros (comportamiento) de su regularidad (régimen sísmico) para otras investigaciones. En estudios realizados en Cuba por Chuy (1980), Alvarez (1983) y Alvarez y Chuy (1992), se utilizaron diferentes intervalos espaciales, temporales, de magnitud, así como del número de estaciones utilizadas, lo cual expondremos posteriormente, como elemento para la discusión y evaluación de los resultados. La metodología de cálculo utilizada estuvo basada en el empleo de métodos estadísticos como comúnmente se realizan estos análisis.

Pretendemos en este trabajo presentar los resultados del análisis para el intervalo de 1998 al 2003, período de tiempo en el cual se trabajó con estaciones digitales de banda ancha y corto período y una red de estaciones que aportaba una cobertura adecuada por proyecto para terremotos con magnitudes de 1.5 Richter (Zapata, et al, 2002).

En este sentido diferentes investigadores (Salcedo, et al, 1997) han aportado sus experiencias a estudios de este tipo, por ejemplo, Rikitake (1975) consideraba que se han podido observar como diferentes parámetros sufren importantes variaciones que pueden ser consideradas como precursores de terremotos, dentro de estos parámetros para la predicción de terremotos se encontraba el parámetro **b**. Ogata and Katsura (1993) describen que Utsu en 1971 revisó más de 250 artículos que para ese tiempo incluían descripciones de los valores de **b** y relacionaba cantidades para terremotos ocurridos en algunas regiones del mundo. Utsu reportó que **b** comúnmente toma un valor cercano a la unidad y varía aproximadamente en un intervalo entre 0,3 y 2,0. Otros como Suyehiro (1966) y Smith (1981) plantean que no existe un acuerdo sobre si **b** aumenta o disminuye antes de un terremoto fuerte pero que si presenta comportamientos particulares para cada región y que actúa como un premonitor de terremotos.

En zonas tradicionalmente sismoactivas como la parte suroriental del archipiélago cubano los estudios del proceso y el régimen sísmico para la estimación de los parámetros de la frecuencia de ocurrencia de los terremotos, es decir, la función Gutenberg y Richter **N(M)**, conocida también como relación magnitud – frecuencia, contiene como principal incertidumbre la fijación de intervalos espaciales (latitud, longitud y profundidad), temporales (rangos de tiempo para el análisis) y de magnitud.

En la relación magnitud – frecuencia:

$$\lg N(M) = a - b M$$

de donde:

- La pendiente (**b**) que representa la frecuencia de ocurrencia de terremotos y es una muestra de la relación entre los terremotos pequeños y grandes.
- La actividad sísmica (**a**) tomado como el inicio de la ordenada de este gráfico.
- La magnitud del terremoto máximo posible (**M<sub>max</sub>**), la cual se define en la intersección del gráfico de frecuencia de terremotos con el eje de las abscisas.

El régimen sísmico tiene como principal característica la frecuencia media de ocurrencia en un período largo, quedando establecida por la ley y el gráfico que muestran la frecuencia con que se repiten los terremotos de determinada magnitud en una región dada, que están representados por una función estadística de distribución de frecuencia de ocurrencia de los terremotos, por su magnitud **M**. Es claro, que esta ecuación representa la relación entre la frecuencia de ocurrencia de terremotos y la magnitud, y es un importante factor para el estudio de la sismicidad. Algunas diferencias en el valor del parámetro **b** han sido observadas entre diferentes regiones sísmicas, como también han sido muchas las discusiones del significado de estas diferencias. Así mismo, analizando la actividad sísmica



en la misma región se pueden observar cambios en el tiempo, incluyendo la actividad sísmica ordinaria y la réplicas.

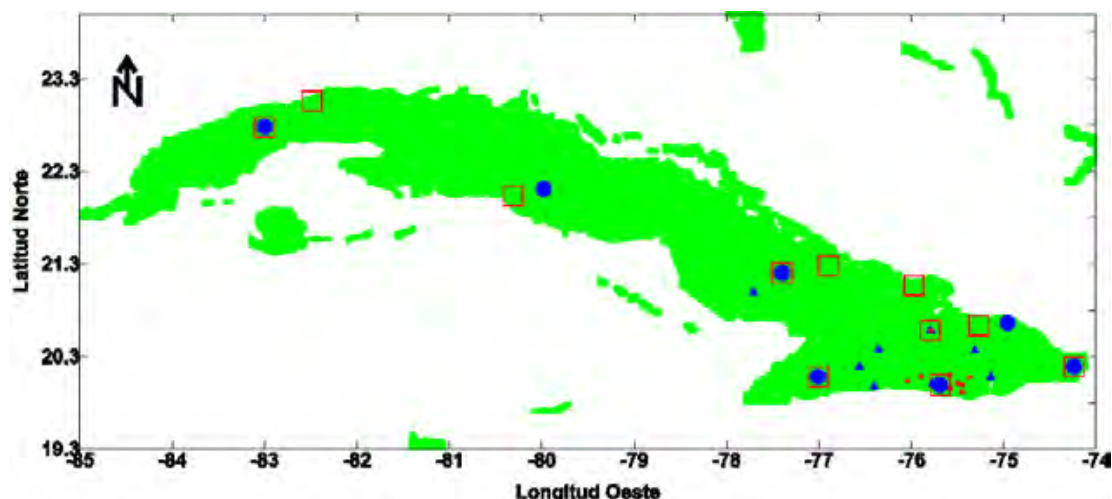
## ESTACIONES SISMOLOGICAS DEL SERVICIO SISMOLOGICO NACIONAL CUBANO

El Servicio Sismológico Nacional Cubano (SSNC) desde su creación en 1964 ha pasado por diferentes etapas tanto por el número de estaciones, la tecnología de captación y registro, así como por la cobertura producto del número de estaciones, las cuales se presentan en la **Tabla I** y **Figura 1** pueden separarse en cuatro (4) etapas, que son:

1. Trabajo independiente de dos estaciones (1964 - 1979).
2. Red de cinco estaciones asistidas corto periodo (1979 - 1986).
3. Red de once estaciones asistidas corto periodo (10 en la región oriental y una en la occidental) y otras seis telemétricas analógicas en Santiago de Cuba (1986 - 1990).
4. Red digital de siete estaciones asistidas de banda ancha, cuatro acelerógrafos, 7 estaciones telemétricas y un sistema telemétrico móvil con cobertura de todo el país (1998 - 2004).

**Tabla I.** Localización y nomenclatura de las estaciones sismológicas cubanas desde 1964 a la fecha.

Estacion	Lat. N	Lon. W	H	Año	Nombre	Provincia
SOR	22.78	- 83.00	206.0	1964	Soroa	Pinar del Río
RCC	19.99	- 75.69	103.0	1965	Río Carpintero	Santiago de Cuba
MASC	20.19	- 74.24	419.0	1979	Maisí	Guantánamo
LMGC	20.08	- 77.01	165.0	1979	Las Mercedes	Granma
PINC	20.58	- 75.79	647.0	1979	Pinares de Mayarí	Holguín
CCCC	21.20	- 77.40	90.0	1982	Casorro	Camaguey
BAZ	20.63	- 75.27	160.0	1987	Bazán	Holguín
HLG	20.91	- 76.21	120.0	1985	Holguín	Holguín
HAB	23.06	- 82.49		1985	Habana	Ciudad Habana
MAN	21.28	- 76.90	20.0	1986	Manatí	Las Tunas
TUM	21.07	- 75.97	40.0	1986	Tumbadero	Holguín
JUL	19.95	- 75.58		1988	La Julia	Santiago de Cuba
VIL	20.08	- 75.37		1988	Villalón	Santiago de Cuba
BON	20.08	- 75.90		1988	Boniato	Santiago de Cuba
BAC	19.92	- 75.46		1989	Baconao	Santiago de Cuba
MAG	20.03	- 76.04		1989	La Margarita	Santiago de Cuba
LOR	20.10	- 75.59		1989	Loreto	Santiago de Cuba
PAL	19.99	- 75.45		1989	Palenque	Guantánamo
TRU	20.01	- 75.50		1989	Trucucú	Santiago de Cuba
CEN	22.03	- 80.31	20.0	1995	CEN Juraguá	Cienfuegos
MGV	22.11	- 79.98	350.0	1998	Manicaragua	Villa Clara
MOAC	20.66	- 74.96	50.0	1999	Moa	Holguín
GTMO	20.08	- 75.14	54.9	1998	Guantánamo	Guantánamo
SABC	20.36	- 75.31	400.0	1998	Sabaneta	Guantánamo
CISC	20.00	- 75.77	90.0	1998	CIES	Santiago de Cuba
YARC	20.37	- 76.36	200.0	1998	Yarey	Granma
BEL	21.00	- 77.71	109.0	2000	Belén	Camaguey
PLAC	20.19	- 76.56	900.0	2001	Punta de Lanza	Granma
CHIC	19.97	- 76.40	15.0	2002	Chivirico	Santiago de Cuba
MAR	22.99	- 82.75	90	2003	Mariel	La Habana

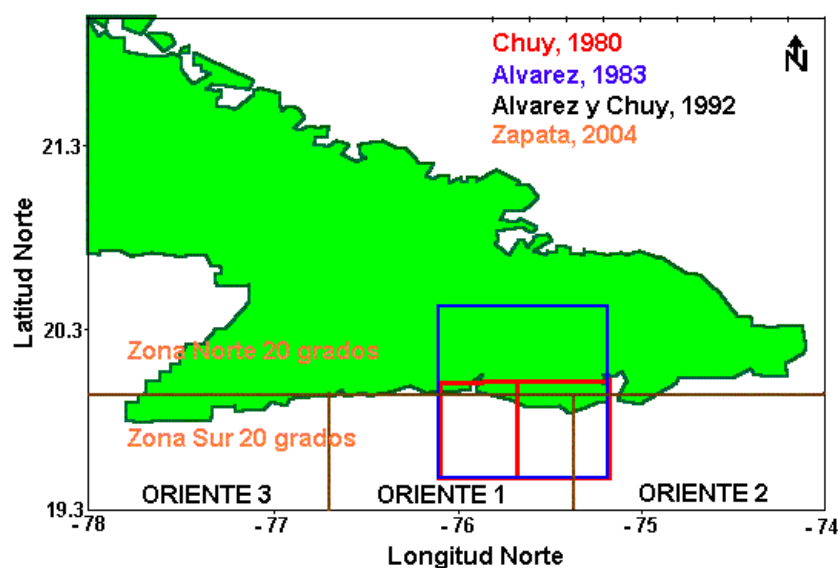


**Figura 1.** Estaciones del Servicio Sismológico Nacional Cubano (SSNC) durante todas sus etapas. En cuadrados rojos (estaciones asistidas antes de 1998), en círculos azules (estaciones asistidas digitales después de 1998), en puntos rojos (estaciones telemétricas analógicas antes de 1998) y en triángulos azules (estaciones telemétricas digitales después de 1998).

Los trabajos realizados por Chuy (1980), Alvarez (1983) y Alvarez y Chuy (1992) tuvieron como punto de partida los requerimientos que se presentan en y cubrieron las áreas que se presentan en la **Figura 2**, así como los parámetros resultantes en la **Tabla II**. Es importante plantear que la información utilizada en los estudios fue la siguiente:

- Chuy (1980) utilizó sólo los datos de la estación RCC (8 años).
- Alvarez (1983) utilizó los datos de RCC e internacionales (13.5 años).
- Alvarez y Chuy (1992) utilizaron los datos de las 10 estaciones analógicas e internacionales (25 años).
- Zapata (2004) utilizó los datos de las estaciones analógicas (1979 –1997) y digitales (1998 – 2003), se tomó un intervalo de magnitudes de 0.5 y como magnitud representativa 2.0 Richter.

No se profundiza en el estudio de la sismicidad y los catálogos pues existen estudios recientes al respecto (Alvarez, et. al, 1999, Chuy 2003, Chuy, 2004 y Zapata, et al, 2002a, b).



**Figura 2.** Localización espacial del área de los estudios presentados por Chuy (1980),



Alvarez (1983), Alvarez y Chuy (1992) y Zapata (2004)

**Tabla II.** Resultados de los trabajos anteriores realizados por Chuy (1980), Alvarez (1983) y Alvarez y Chuy (1992). De Zapata (2004) sólo se presentan las coordenadas, los resultados en las Tablas III y IV.

Autores	Zona	Latitud N	Longitud W	a	b
Chuy, 1980	4	19.50 a 20.00	- 75.66 a - 76.08	0.09	- 0.42
	5	19.50 a 20.00	- 75.17 a - 75.67	0.24	- 0.44
Alvarez, 1983	1	19.50 a 20.50	- 75.20 a - 76.20	1.48	- 0.53
Alvarez y Chuy, 1992	Oriente 1	19.30 a 20.00	- 75.20 a - 76.80	2.40	- 0.65
	Oriente 2	19.30 a 20.00	- 74.00 a - 75.19	1.62	- 0.58
	Oriente 3	19.30 a 20.00	- 76.81 a - 78.00	0.60	- 0.58
Zapata (2004)	Norte	20.01 a 22.00	- 74.00 a - 78.00		
	Sur	19.30 a 20.00	- 74.00 a - 78.00		

## PARAMETROS TEMPORALES DE LA RELACION MAGNITUD – FRECUENCIA EN CUBA ORIENTAL

La selección de las zonas presentadas en este trabajo se justifica debido a la necesidad de discernir los parámetros y las diferencias existentes entre la sismicidad producto de las placas de Norteamérica y el Caribe (conocida como extraplaca) de la generada dentro del archipiélago (conocida como intraplaca), es por ello que se utiliza la Latitud 20.00 grados Norte como límite para el estudio, pero fue necesario ampliar el intervalo de tiempo para el estudio con el objetivo de establecer las comparaciones necesarias para el análisis espacial, las zonas geográficas en uso por el SSNC (Zapata, et al, 2002a) serán utilizadas en estudios posteriores, teniendo en cuenta además la evaluación de las crisis sísmicas (Zapata, et al, 2002b). En la **Tabla III** se presentan los resultados y con posterioridad se pretende realizar el estudio específico de las diferentes zonas sismoactivas cubanas (Chuy, et al, 1997), se presentan además en la **Tabla IV** también por años los resultados para toda la región oriental, como premisa para otros estudios de investigaciones aplicadas a proyectos constructivos en el área.

**Tabla III.** Comportamiento espacio temporal del régimen sísmico de las regiones estudiadas.

AÑO	SUR 20 grados				NORTE 20 grados			
	CANTIDAD	a	b	R	CANTIDAD	a	b	R
1979	19	1.84	- 0.24	0.96				
1980	15	1.53	- 0.17	1.00	5	0.70	- 0.10	1.00
1981	52	2.43	- 0.33	0.91				
1982	74	2.70	- 0.29	0.99	25	2.79	- 0.45	0.95
1983	78	2.36	- 0.23	0.92	25	3.41	- 0.57	1.00
1984	269	4.36	- 0.57	0.99	53	2.92	- 0.45	0.93
1985	241	3.38	- 0.42	0.94	68	5.31	- 0.94	1.00
1986	123	3.51	- 0.46	0.95	85	3.65	- 0.61	0.98
1987	142	3.33	- 0.44	0.96	78	2.97	- 0.43	0.97
1988	172	3.84	- 0.52	0.91	53	2.49	- 0.31	0.92
1989	210	4.06	- 0.49	0.97				
1990	174	3.36	- 0.38	0.94	56	3.45	- 0.51	0.97
1991	241	3.53	- 0.40	0.97	70	2.54	- 0.31	0.94
1992	802	4.19	- 0.40	0.97	53	2.35	- 0.32	0.92
1993	255	4.10	- 0.48	0.96	67	4.00	- 0.61	0.99
1994	189	3.96	- 0.48	1.00	69	4.73	- 0.79	1.00
1995	213	3.83	- 0.47	0.98	79	2.89	- 0.41	0.95
1996	113	4.96	- 0.69	1.00	26	0.85	- 0.06	0.89
1997	102	2.54	- 0.25	0.98				
1998	850	4.62	- 0.65	0.95	228	2.84	- 0.30	0.97
1999	1355	3.85	- 0.46	0.96	1526	3.02	- 0.30	0.99
2000	1321	3.69	- 0.43	0.96	320	2.41	- 0.31	0.91
2001	2076	4.25	- 0.49	0.97	222	3.69	- 0.60	1.00
2002	1081	3.04	- 0.36	0.96	241	2.08	- 0.22	0.95

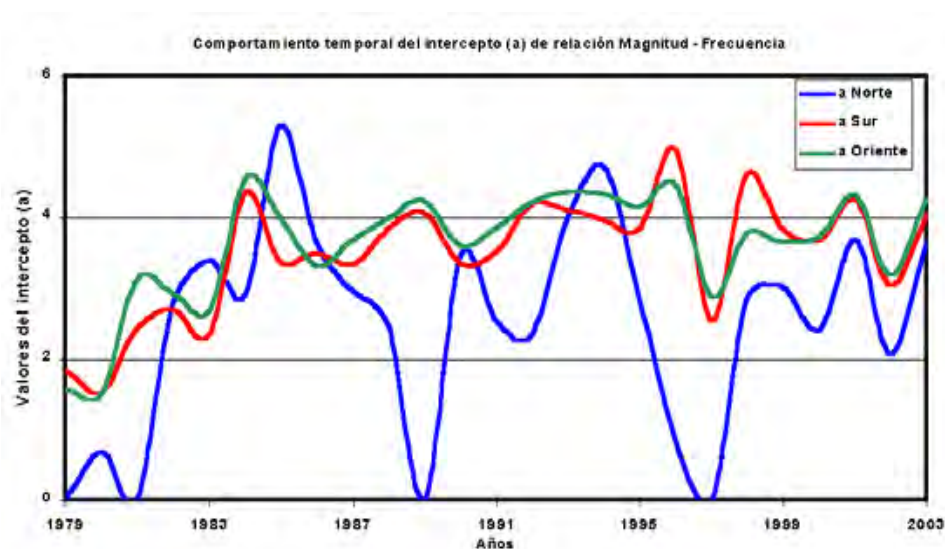


2003 937 4.02 - **0.49** 0.97 469 3.63 - **0.54** 0.94

En las **Tablas III y IV**, marcamos en negritas los valores coincidentes con los estudios realizados anteriormente, nótese que el coeficiente de correlación (**R**) obtenido en las determinaciones es bastante elevado, los resultados obtenidos hasta el momento no permiten utilizar estos resultados de **a** y **b** como elementos predictivos. En las **Figuras 3 y 4** se muestran para parámetros y zonas en estudio la influencia de su aporte en la parametrización de la sismicidad de la región oriental de Cuba.

**Tabla IV.** Comportamiento espacio temporal del régimen sísmico para la región de Cubaoriental.

CUBAORIENTAL					
AÑO	CANTIDAD	a	b	R	
1979	24	1.58	- 0.17	0.81	
1980	18	1.51	- 0.18	0.88	
1981	60	3.12	- <b>0.43</b>	0.98	
1982	99	2.93	- 0.32	0.99	
1983	99	2.69	- 0.27	0.96	
1984	321	4.55	- <b>0.59</b>	0.99	
1985	311	4.00	- <b>0.51</b>	0.94	
1986	208	3.31	- <b>0.40</b>	0.95	
1987	218	3.69	- <b>0.49</b>	0.96	
1988	230	3.99	- <b>0.51</b>	0.99	
1989	255	4.24	- <b>0.51</b>	0.98	
1990	230	3.60	- <b>0.41</b>	0.95	
1991	311	3.86	- <b>0.45</b>	0.99	
1992	855	4.21	- <b>0.40</b>	0.98	
1993	322	4.36	- <b>0.51</b>	0.97	
1994	258	4.34	- <b>0.54</b>	1.00	
1995	292	4.14	- <b>0.51</b>	0.98	
1996	139	4.48	- <b>0.58</b>	1.00	
1997	120	2.88	- 0.30	0.99	
1998	1078	3.78	- <b>0.41</b>	0.96	
1999	2881	3.66	- 0.39	0.95	
2000	1641	3.73	- <b>0.42</b>	0.98	
2001	2298	4.32	- <b>0.49</b>	0.97	
2002	1322	3.18	- 0.37	0.96	
2003	1412	4.26	- <b>0.52</b>	0.98	

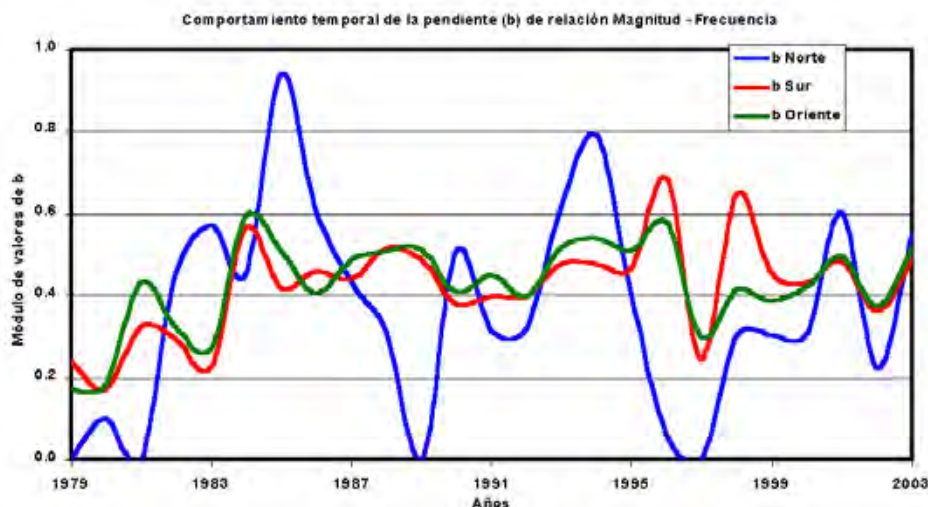


**Figura 3.** Comportamiento temporal del intercepto (a) de la relación magnitud frecuencia.



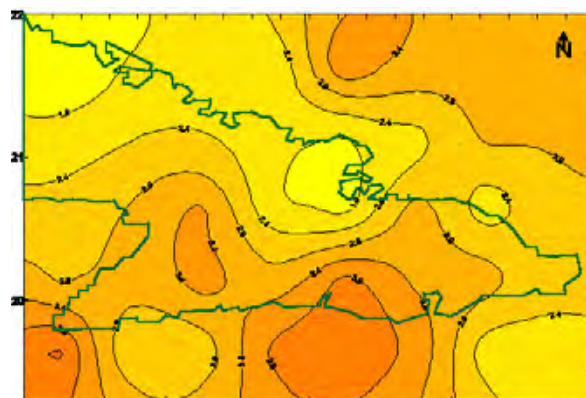
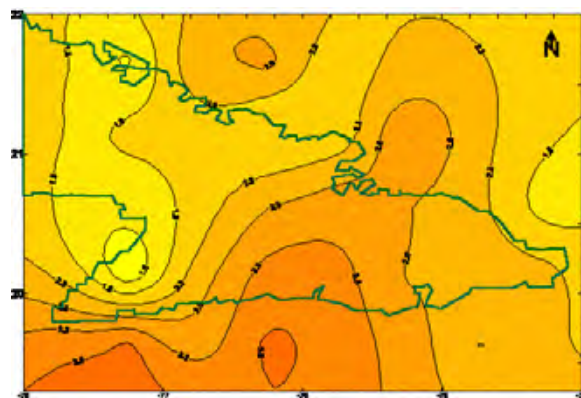


Nótese que el comportamiento de los dos parámetros para la zona oriental en su conjunto está controlado por la zona Sur, producto de la mayor contribución e importancia de esta en la sismicidad de la región.

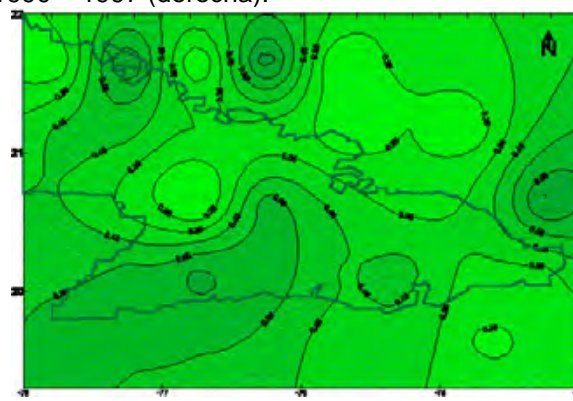
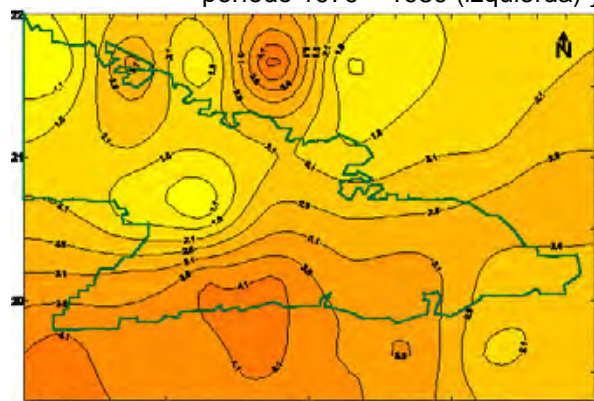


**Figura 4.** Comportamiento temporal de la pendiente (b) de la relación magnitud frecuencia.

## ANÁLISIS ESPACIAL DE LA RELACION MAGNITUD – FRECUENCIA EN CUBA ORIENTAL PARA EL PERIODO ESTUDIADO



**Figuras 5 y 6:** Representación espacial del parámetro *a* de la relación magnitud frecuencia durante el período 1979 – 1989 (izquierda) y 1990 – 1997 (derecha).

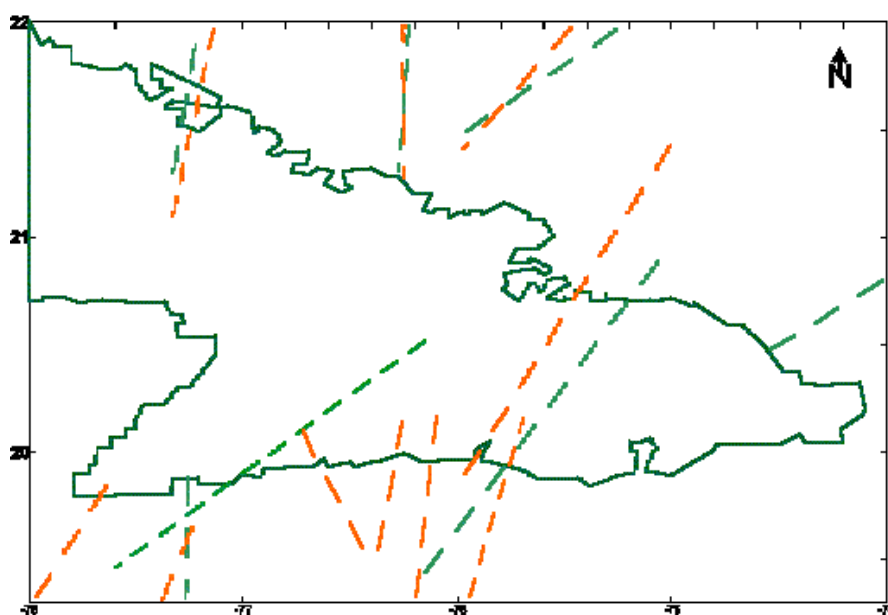


**Figuras 7 y 8:** Representación espacial de los parámetros de la relación magnitud frecuencia para el período 1998 – 2003, parámetro *a* (izquierda) y *b* (derecha).



Del análisis espacio - temporal de estos tres períodos de tiempo notamos que existe un corrimiento de la actividad sísmica (parámetro **a**) desde la zona de Pílon y Santiago de Cuba (1979 – 1989), hacia Santiago de Cuba y Cabo Cruz (1990 – 1997) y luego hacia Chivirico, Cabo Cruz y Norte de Holguín (1998 – 2003). Las dos primeras coinciden con los terremotos de Pílon, Cabo Cruz y Santiago de Cuba de los últimos tiempos, pero en la tercera no se ve reflejada los terremotos de Moa durante 1998 y 1999.

De la evaluación de los resultados del análisis espacial de ambos parámetros fue posible trazar las alineaciones principales de los máximos (ver **Figura 9**), que son en gran medida coincidentes con las estructuras tectónicas de la región y reflejan con claridad las principales estructuras sismoactivas, aunque la estructura principal Bartlett Cayman no se traza por no utilizarse como límite inferior del área de estudio 19.3 de Latitud Norte.



**Figura 9.** Alineaciones principales a partir del análisis espacial de los parámetros a y b de la relación magnitud – frecuencia.

## CONCLUSIONES

Del estudio realizado se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Se logró con un número elevado de estaciones cubanas, el estudio de los parámetros del régimen sísmico.
2. Con el análisis de estos parámetros se pudo definir el comportamiento detallado de las zonas sismoactivas de la región oriental.
3. Se reflejan variaciones espaciales que se ajustan a períodos de actividad de diferentes estructuras sismoactivas.
4. Se tienen las herramientas para la ejecución de estos estudios en otros sectores.

## RECOMENDACIONES

Como resultados se recomienda:

1. Realizar el estudio de las diferentes zonas sismoactivas utilizadas en el trabajo de rutina del SSNC.
2. Realizar en estudios posteriores la limpieza de crisis sísmicas y réplicas en los catálogos utilizados.
3. Analizar en conjunto los resultados de los estudios de atenuación y régimen sísmico.



## BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, J. L., Chuy, T. J., García, J., Moreno, B., Alvarez, H., Blanco, M., Expósito, O., González, O., y Fernández, A.I., 1999:** An Earthquake Catalogue of Cuba and Neighboring Areas. IC / IR / 99 / 1 , Internal Report, UNESCO – IAEA – ICTP, Miramare, Trieste. 60 pp.
- Chuy, T. J., 2004:** Terremotos fuertes y peligrosidad sísmica de Cuba. En: Memorias de la 12 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura (III TIARD) ISPJAE. Cuba. ISBN 959-261-169-6. 10 pp.
- Chuy, T. J., 2003:** Caracterización del proceso de liberación de las deformaciones en las principales zonas sismogénicas de Cuba. En: Memorias del V Congreso de Minería y Geología GEOMIN 2003, Ciudad de la Habana. ISBN 959-7117-11-8. 11 pp.
- Chuy, T.J., Orbera, L., Hernández, J. R., Magaz, A., Sánchez, F., Pérez, C., González, E., Fundora, M., Rubio, M., Alvarez, J. L., Cotilla, M., Arango, . D., Iturralde-Vinent, M., Rodríguez, J., Marquetti, M. C. y Ramirez, R., 1997:** Dictamen Conclusivo. Comisión Ad-hoc para la determinación de las Zonas Sismogénicas de la región Oriental de Cuba y zonas aledañas. En: Revista Electrónica “Ciencia en su PC”, Santiago de Cuba. ISSN 1027-2887, Vol. 2, No.2.
- Ogata Y., and Katsura K., 1993:** Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude-frequency distribution inferred from earthquakes catalogues, Geophys. J. Int., 113, 727-738.
- Rikitake T. (1975):** Earthquake precursors, Bull. Seism. Soc. Am., 65, págs. 1133-1162.
- Salcedo, E.J., Rivera, C.I. y Gómez, A.A., 1997:** Análisis de la frecuencia de terremotos fuertes en la región central de Colombia mediante parámetros de régimen sísmico. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. XXI, No. 79, pp 57 – 72.
- Smith W. D., 1981:** The b-value as an earthquake precursor, Nature, **29**, págs. 136-139.
- Suyehiro S., 1966:** Difference between aftershocks and foreshocks in the relationship of magnitude to frequency of occurrence for the great Chilean earthquake of 1960, Bull. Seism. Soc. Am., 56, 185-200.
- Zapata, J.A., Chuy, T.J., Despaigne, G., Matos, R. y Expósito, O.L., 2002a:** Servicio Sismológico Nacional cubano como Sistema de Alerta Temprana: Año 2001. En: Revista “Servicio Sismológico Nacional”. Año 2001”. Editorial Academia. La Habana. ISBN 959-02-0348-5. pp 7 – 66.
- Zapata, J. A., Chuy, T. J., García, J. y Arango E. D., 2002b:** Agrupamientos de terremotos en el sector Santiago de Cuba – Chivirico: repetibilidad, características y su implicación en la Sismicidad del área. En: Memorias del II Congreso Cubano de Geofísica y IV Conferencia Latinoamericana de Geofísica del 2002. En: Revista “Nuevas Investigaciones Sismológicas en Cuba”. Editorial Academia. La Habana. ISBN 959-02-0347-7. pp 7 – 15.
- Zapata, J.A.; Guasch, F.; Serrano, M.; Montenegro, C.; Díez, E.R.; González, O.F.; Del Pino, J. R., 2000:** Servicio Sismológico Nacional de Cuba: Primeros resultados después de la Transformación Tecnológica. RED DE ESTACIONES E INVESTIGACIONES SISMOLOGICAS EN CUBA. Editor: José A. Zapata B. Editorial Academia. ISBN 959-02-0244-6. p 27 - 33.



## ESTIMATION OF SURFACE WAVE PARAMETERS FROM IMAGE PROCESSING OF VIDEO DATA

Mykola Vysotsky<sup>(1)</sup>, Dr. Robin Williams<sup>(1)</sup>, Dr. Ramon Vasquez<sup>(1)</sup>, Scott Stripling<sup>(2)</sup>

(1) The University of Puerto Rico at Mayaguez, Post Str. Mayaguez, Puerto Rico. ZIP 00681 E-mail: [grad@uprm.edu](mailto:grad@uprm.edu); (2) National Weather Service at San Juan, 4000 Carreterra 190, Carolina, Puerto Rico. ZIP 00979 E-mail: [sr-sju.webmaster@noaa.gov](mailto:sr-sju.webmaster@noaa.gov)

The National Weather Service in San Juan receives wave model output for the Puerto Rican regional coastal waters generated by NCEP's WaveWatch III model. These predictions are often unreliable mainly due to the fact that in-situ observations are not available for the coastal regions of Puerto Rico. These observations are required for calibration and validation of the wave model predictions. It is proposed to use video cameras to collect images of the nearshore zone of the ocean and to develop an algorithm for processing the video data. The data will be recorded in daylight by a video camera pointed at areas in the nearshore zone where the waves have not yet been affected by the reefs. After the video data have been received, a routine processes it in real time. To implement this, design of an observation system is required, which includes the following components: Sanyo 1/2 inch CCD VGA (640x480) camera, AXIS Camera Server, and a PC running the routine. The routine's algorithm is designed based on several image processing methods and techniques, which allow classification of the objects with different grey-scale intensity levels. The algorithm produces an output that includes estimates of wave parameters, such as period and direction in real-world metric values. The instance of the image obtained from the video camera during a field experiment is on Figure 1.



Figure 1

## **AVANCES RECIENTES EN LOS PROYECTOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN COLOMBIA: CASO CALI.**

Anibal Ojeda (1), Carlos Alvarado (1), Jesús García

(1) Instituto de Geología y Minería de Colombia – INGEOMINAS – Diagonal 53 # 34 – 53, Bogotá D.C.

En Colombia el Ingeominas (Instituto Colombiano de Minería y Geología) comenzó los proyectos de microzonificación sísmica desde 1986 con el estudio para la ciudad de Popayán, desde entonces y hasta la fecha se han realizado estudios en la mayor parte de las ciudades más importantes en Colombia, en la actualidad el Ingeominas se encuentra ejecutando el proyecto de microzonificación sísmica de Cali. El objetivo de este trabajo es presentar de manera muy concreta la forma como se desarrolla el proyecto, mostrando las técnicas que se utilizan y los resultados obtenidos. La ciudad de Cali está localizada en la región sur occidental de Colombia, la ciudad tiene más de 2'000.000 de habitantes y se extiende sobre el valle del Cuaca en una área aproximada de 160 Km<sup>2</sup>, Cali corresponde a la segunda ciudad más grande Colombia, y a la vez está sometida a un nivel de amenaza alto en comparación a otras ciudades en el país. La mayor parte de la sismicidad que afecta a la ciudad proviene de la zona de subducción entre la placa de Nazca y la placa Suramericana, y los sistemas de falla cercanos como el caso del sistema Dagua-Calima, y el sistema de Romeral. Para este proyecto se han desarrollado investigaciones detalladas de neotectónicas de las fallas cercanas, y se ha instalado una red de 16 acelerógrafos, los cuales han registrado eventos con magnitudes Mw entre 4.0 y 7.2. A nivel local para la ciudad se cuentan con trabajos de geofísica de detalle, que permiten conocer la estructura tri-dimensional del basamento debajo de la ciudad para una profundidad de hasta 4 Km., esta información es vital para la formulación de modelos bi- y tri-dimensionales para la evaluación de la propagación de las ondas, y respuesta sísmica de la ciudad. Para un nivel mucho más detallado también se han desarrollado perforaciones en varios sitios de la ciudad que van hasta los 100 m, estas con el objetivo de conocer en más detalle la geotecnia de la ciudad y poder evaluar las propiedades geo-mecánicas y dinámicas de los suelos, de manera que se puedan adelantar modelaciones de la respuesta no-lineal de los mismos. Con la información disponible en estos momentos puede calcular sismógramas sintéticos que permitan evaluar la respuesta sísmica de la ciudad, estos a su vez pueden ser comparados con sismos ya registrados en la red de acelerógrafos, esto va a permitir tener una calibración de los datos y metodología utilizada, lo va a permitir adelantar una evaluación realista de escenarios de amenaza sísmica y de la respuesta de la ciudad.



## INCIDENCIA DE LOS SISMOS EN LA AMENAZA TECNOLÓGICA DE LA CIUDAD DE GUANTANAMO.

**MSc. Zulima C. Rivera Alvarez, Dr. Tomás J. Chuy Rodríguez, MSc. Carmen R. Reyes Pérez.**

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17, No. 61 % 4 y 6, Reparto Vista Alegre. Santiago de Cuba, Cuba, CP.90400, e-mail: [zuli@cenais.ciges.inf.cu](mailto:zuli@cenais.ciges.inf.cu), e-mail: [chuy@cenais.ciges.inf.cu](mailto:chuy@cenais.ciges.inf.cu), e-mail: [carmen@cenais.ciges.inf.cu](mailto:carmen@cenais.ciges.inf.cu)

### RESUMEN.

La amenaza tecnológica puede ser inducida por el mal manejo de las normas de mantenimiento y protección dentro de la planta, o por la ocurrencia de un sismo fuerte. En este trabajo se valora la amenaza tecnológica en diferentes instalaciones del municipio Guantánamo, que almacenan y utilizan productos tóxicos y que son propensas a sufrir daños en caso de ocurrir un terremoto fuerte, produciendo escapes de estos productos como un efecto secundario que afectarían sensiblemente a la población de este territorio y al medio ambiente circundante.

Se realizó un levantamiento de todas las industrias que se encuentran en la ciudad y almacenan productos tóxicos peligrosos, teniendo en cuenta además las condiciones geológicas del sitio de emplazamiento, fenómenos físico-geológicos y climáticos que puedan ocurrir y los diferentes estados en que se puede encontrar el aire.

Los niveles de amenaza en las instalaciones estudiadas fueron valorados con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica, en el que se implementaron los mapas de los radios de acción de las diferentes sustancias químicas para los diferentes estados del aire.

### ABSTRAC.

The technological hazard could be induced handling of the norms of maintenance and protection within the factory, or for the occurrence of a large earthquake. In this work the technological hazard in several installations of the Guantánamo municipality is valued, that ones that keep and utilize toxic products and that are prone to suffer damages in case of occurring a strong quake, producing escapes of these products like a secondary effect that would affect to the population and the environment. of this territory.

Was carried out an inspection of all industries in the city that have dangerous toxics products, also considering the geological conditions of the site, physical-geological and climatical phenomenons that they could occur in there and the several states in that could find the air.

The levels of hazard in the studied installations were valued with the support of a Geographical Information System, for the use of the maps of the action radios for each of the several products considering several states of the air.

### CARACTERÍSTICAS DE LAS AMENAZAS TECNOLÓGICAS.

Las amenazas tecnológicas se identifican por la presencia de un agente que pone en peligro al hombre y su entorno, por la posibilidad de que se generen accidentes vinculados con él (Módulo, 2000). Utilizando este criterio, es evidente que la evaluación de la amenaza tecnológica no depende solamente de la presencia de un agente determinado, si no que contempla elementos tales como la historia de eventos en la zona o en la fuente de riesgo, las condiciones de seguridad en que funciona el sistema que posee la amenaza y el grado de interacción de la amenaza con los sistemas amenazados.

La amenaza tecnológica se enmarca en el contexto de las amenazas de origen antropogénico (por la acción del hombre). De esta forma se establecen dos categorías de estudio de las





amenazas antrópico-contaminantes. La primera originada por el vertimiento de materiales y productos peligrosos en la atmósfera, ríos, arroyos, embalses, etc., así como por la contaminación del manto freático debido al uso indiscriminado de sustancias químicas peligrosas. Este problema tiene su origen en dos contextos diferentes, el primero de ellos corresponde a un escenario industrial donde se vierte una cantidad de materiales de desecho y subproductos de procesos industriales complejos; el segundo corresponde a la actividad contaminante a nivel de comunidades, producto de la carencia de adecuados sistemas de saneamiento básico u otro tipo de infraestructura sanitaria.

El segundo tipo de amenazas tecnológicas son las denominadas antrópico-tecnológicas. Estas se derivan de la existencia y manejo inadecuado de instalaciones industriales complejas u otras actividades que pudieran generar un factor de inseguridad a la población. Debe tenerse claro que la presencia de un desarrollo industrial en un entorno determinado, no necesariamente es sinónimo de incidencia de amenazas tecnológicas. La condición de amenaza tecnológica está estrechamente relacionada con la forma en que la actividad se desarrolle en términos de la seguridad de los procesos productivos y de manipulación de los materiales.

## TIPOS DE AGENTES DE AMENAZA TECNOLÓGICA.

El proceso de evaluación de amenazas tecnológicas depende, entre otras variables, del agente que actúa. En consecuencia, considerando el tipo de agente (Módulo, 2000), se pueden identificar los siguientes tipos de amenazas:

**Químicas**. Por la presencia de materiales y productos tóxicos o peligrosos, o bien equipos peligrosos cuyo principio de funcionamiento está basado en el uso de sustancias tóxicas o peligrosas.

**Biológicas**. Por la presencia de microorganismos patógenos tales como virus, bacterias u otro tipo de sustancias infecciosas.

**Físicas**. Por la presencia en el ambiente de efectos físicos tales como ruidos, temperaturas extremas (altas o bajas), o que producto de fallas en el funcionamiento de equipos puedan producirse sobreexposiciones a radiaciones electromagnéticas del tipo ionizante (rayos X, radiación gamma, radiaciones cósmicas, partículas alfa, partículas beta).

## DESASTRES TECNOLÓGICOS.

El desastre tecnológico se define como una situación, derivada de un accidente en el que se involucran sustancias, elementos o equipos peligrosos; que han causado daños al medio ambiente, a la salud, al componente socioeconómico y/o a la infraestructura productiva de un sistema, siendo estos daños de tal magnitud que exceden la capacidad de respuesta del sistema afectado.

## EMERGENCIAS TECNOLÓGICAS.

Las emergencias tecnológicas son situaciones en las que se puede ver inmerso un sistema, dada la ocurrencia de un evento o fenómeno, esperado o no, que altera el funcionamiento normal del mismo; es decir, que un objeto, material o proceso peligroso, una sustancia tóxica o peligrosa, o bien la interacción de éstos, pueda ocasionar un número determinado de consecuencias a la salud, la economía, al medio ambiente y/o al desarrollo integral de un sistema (Módulo, 2000). Independientemente del proceso en el que ocurran, estas situaciones se derivan de accidentes laborales o como consecuencia de eventos (amenazas) naturales

extremos. Las características del evento o fenómeno ocurrido, así como la capacidad integral que posea el sistema para hacer frente al cambio que se produce, son los factores que determinan el nivel de la emergencia tecnológica.

## INSTALACIONES CON PRODUCTOS TÓXICOS EN LA CIUDAD DE GUANTÁNAMO.

En la ciudad de Guantánamo existen varias instalaciones en las que se utilizan y/o almacenan diferentes productos químicos y que de ser afectadas por fenómenos naturales tales como sismos, huracanes, entre otros; pudieran llegar a producir emergencias tecnológicas, del tipo de averías, escapes, etc., y en consecuencia la contaminación del terreno y la atmósfera.

Las instalaciones que utilizan sustancias con propiedades tóxicas se pueden ver en la **Tabla I** y su ubicación dentro del perímetro urbano de la ciudad de Guantánamo se muestra en la **Figura 1**. Todas son denominadas Objetivos Q (CIGEA-CITMA, 2002), siendo de gran interés no sólo por su importancia socioeconómica, sino también por la cantidad de sustancias que almacenan.



Figura 1. Instalaciones donde se encuentran productos tóxicos en las ciudad de Guantánamo.



Tabla I. Radios letales (L) y afectantes (A) en metros de cada Instalación con productos tóxicos.

Instalaciones en la ciudad de Guantánamo	Inversión		Isoterma		Convección	
	L	A	L	A	L	A
Acueducto Bano	290	1370	230	1050	190	850
Fábrica de Hielo	50	160	30	120	29	100
Combinado Cárnico	70	250	50	190	30	160
Combinado Lácteo	110	400	90	310	70	250
Fabrica de Bebidas y Licores	70	250	50	190	30	160
Combinado Industrial Guaso	30	130	22	100	20	70
Almacén de Medicamentos	210	970	160	740	130	610

Para determinar los radios de acción de las diferentes sustancias químicas que se encuentran almacenadas o en utilización dentro de estas instalaciones, se tuvieron en cuenta fundamentalmente los diferentes tipos y los volúmenes de sustancias presentes en cada una de ellas. Bajo esta consideración se tomaron los valores del radio de acción por cada sustancia utilizando la Guía de Apreciación de los Productos Tóxicos Industriales de los Objetivos Económicos con Peligrosidad Química (1986), de la cual se obtuvieron los radios letales y afectantes, establecidos para diferentes estados (dependiendo de la temperatura del aire y del suelo) a partir de la profundidad de propagación de la sustancia en Km.

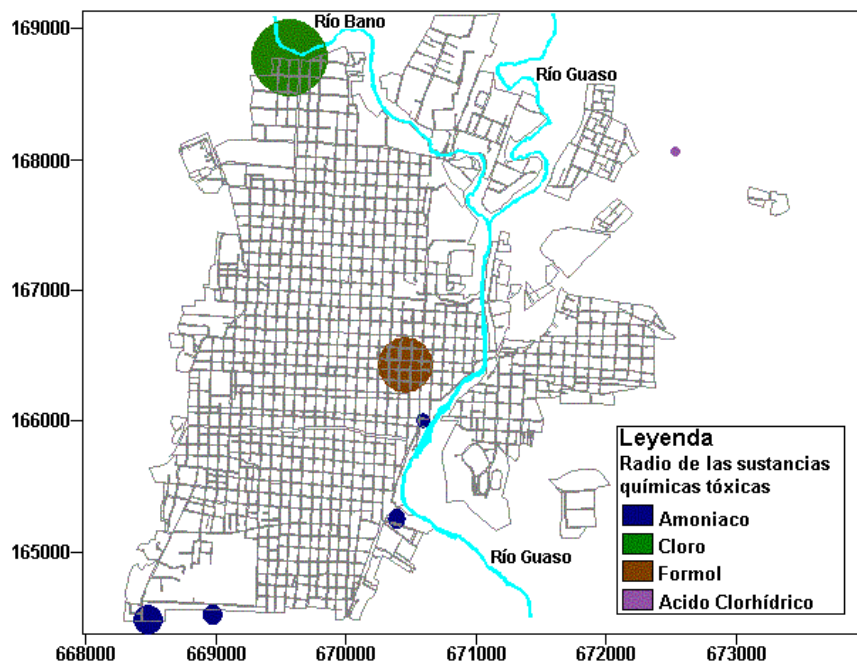
Para facilitar el cartografiado de estos radios en el mapa, todas las distancias fueron llevadas a m y se tomó la velocidad promedio del viento en la ciudad de 1 m/s. La velocidad del viento en la zona considerada, es significativa para determinar la velocidad de propagación y profundidad que alcanza la nube de gases o vapores de las sustancias tóxicas, en un periodo dado de tiempo.

Así también, los estados de la atmósfera seleccionados para los radios letales y afectantes son:

- **Inversión.** La temperatura del aire es menor que la del suelo.
- **Isoterma.** La temperatura del aire es igual a la del suelo.
- **Convección.** La temperatura del aire es mayor que la del suelo.

En la **Figura 2** se muestran los radios de acción letales de las sustancias de cada instalación en estado de inversión.

- **Amoniaco.**  
Fábrica de Hielo. Produce afectaciones hasta una distancia de 50 m de la instalación.  
Combinado Cárnico y Fábrica de Bebidas y Licores. Producen afectaciones hasta una distancia de 70 m de la instalación.  
Combinado Lácteo. Produce afectaciones hasta una distancia de 110 m de la instalación.
- **Cloro.**  
Acueducto Bano. Produce afectaciones hasta una distancia de 290 m de la instalación.
- **Formol.**  
Almacén de Medicamentos. Produce afectaciones hasta una distancia de 210 m de la instalación.
- **Acido clorhídrico.**  
Combinado Industrial Guaso. Produce afectaciones hasta una distancia de 30 m de la instalación.



**Figura 2. Radio de acción letal de las sustancias tóxicas en cada instalación en estado de inversión.**

En la **Figura 3** se muestran los radios de acción afectantes de las sustancias de cada instalación en estado de inversión.

- Amoniaco.  
Fábrica de Hielo. Produce afectaciones hasta una distancia de 160 m de la instalación.  
Combinado Cárnico y Fábrica de Bebidas y Licores. Producen afectaciones hasta una distancia de 250 m de la instalación.  
Combinado Lácteo. Produce afectaciones hasta una distancia de 400 m de la instalación.
- Cloro.  
Acueducto Bano. Produce afectaciones hasta una distancia de 1370 m de la instalación.
- Formol.  
Almacén de Medicamentos. Produce afectaciones hasta una distancia de 970 m de la instalación.
- Acido clorhídrico.  
Combinado Industrial Guaso. Produce afectaciones hasta una distancia de 130 m de la instalación.

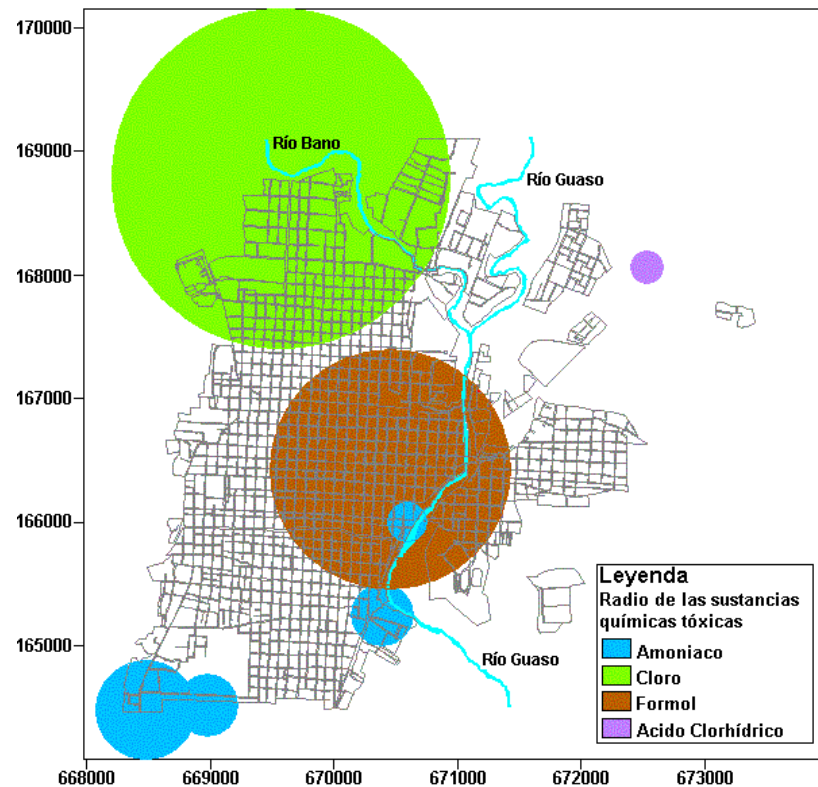
Los radios de acción letales de las sustancias de cada instalación en estado de isoterma son:

- Amoniaco.  
Fábrica de Hielo. Produce afectaciones hasta una distancia de 30 m de la instalación.  
Combinado Cárnico y Fábrica de Bebidas y Licores. Producen afectaciones hasta una distancia de 50 m de la instalación.  
Combinado Lácteo. Produce afectaciones hasta una distancia de 90 m de la instalación.
- Cloro.  
Acueducto Bano. Produce afectaciones hasta una distancia de 230 m de la instalación.
- Formol.





- Almacén de Medicamentos. Produce afectaciones hasta una distancia de 160 m de la instalación.
- Acido clorhídrico.  
Combinado Industrial Guaso. Produce afectaciones hasta una distancia de 22 m de la instalación.



**Figura 3. Radio de acción afectante de las sustancias tóxicas en cada instalación en estado de inversión.**

Los radios de acción afectantes de las sustancias de cada instalación en estado de isoterma son:

- Amoniaco.  
Fábrica de Hielo. Produce afectaciones hasta una distancia de 120 m de la instalación.  
Combinado Cárnico y Fábrica de Bebidas y Licores. Producen afectaciones hasta una distancia de 190 m de la instalación.  
Combinado Lácteo. Produce afectaciones hasta una distancia de 310 m de la instalación.
- Cloro.  
Acueducto Bano. Produce afectaciones hasta una distancia de 1050 m de la instalación.
- Formol.  
Almacén de Medicamentos. Produce afectaciones hasta una distancia de 740 m de la instalación.
- Acido clorhídrico.  
Combinado Industrial Guaso. Produce afectaciones hasta una distancia de 100 m de la instalación.

Los radios de acción letales de las sustancias de cada instalación en estado de convección son:



- Amoniaco.  
Fábrica de Hielo. Produce afectaciones hasta una distancia de 29 m de la instalación.  
Combinado Cárnico y Fábrica de Bebidas y Licores. Producen afectaciones hasta una distancia de 30 m de la instalación.  
Combinado Lácteo. Produce afectaciones hasta una distancia de 70 m de la instalación.
- Cloro.  
Acueducto Bano. Produce afectaciones hasta una distancia de 190 m de la instalación.
- Formol.  
Almacén de Medicamentos. Produce afectaciones hasta una distancia de 130 m de la instalación.
- Acido clorhídrico.  
Combinado Industrial Guaso. Produce afectaciones hasta una distancia de 20 m de la instalación.

Los radios de acción afectantes de las sustancias de cada instalación en estado de convección son:

- Amoniaco.  
Fábrica de Hielo. Produce afectaciones hasta una distancia de 100 m de la instalación.  
Combinado Cárnico y Fábrica de Bebidas y Licores. Producen afectaciones hasta una distancia de 160 m de la instalación.  
Combinado Lácteo. Produce afectaciones hasta una distancia de 250 m de la instalación.
- Cloro.  
Acueducto Bano. Produce afectaciones hasta una distancia de 850 m de la instalación.
- Formol.  
Almacén de Medicamentos. Produce afectaciones hasta una distancia de 610 m de la instalación.
- Acido clorhídrico.  
Combinado Industrial Guaso. Produce afectaciones hasta una distancia de 70 m de la instalación.

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos el estado de Inversión es el que mayores daños puede provocar en caso de derrame de cualquiera de las sustancias que se almacenan en las instalaciones analizadas, siendo a su vez el cloro el causante de las mayores afectaciones en el área urbana, por el gran radio de acción que alcanza este producto en caso de derrame (**ver Tabla I**). Una emergencia y/o desastre tecnológico producto de cualquiera de estas sustancias tóxicas, puede ser inducido por un sismo de gran intensidad o por efectos secundarios de fenómenos geológicos e hidrometeorológicos.

Debemos señalar que los radios de acción son pequeños debido a las pocas cantidades almacenadas en cada instalación, con excepción del correspondiente al cloro cuyo nivel de afectación siempre es mayor por su toxicidad y rapidez de propagación. En relación con el formol, su alta incidencia es debida fundamentalmente a que esta instalación se localiza dentro del perímetro urbano. En relación con estos radios, se debe considerar que pueden sufrir modificaciones, fundamentalmente en dependencia de la velocidad y dirección predominante del viento en el momento de la emergencia tecnológica, de la temperatura ambiental, cantidad real de sustancia tóxica que se encuentre almacenada o en uso, entre otros factores.

Otro aspecto importante a considerar es que el riesgo se hace mucho mayor en caso de que se derramen varias sustancias peligrosas simultáneamente, ya que éstas se mezclarían aumentando el área del radio de acción de las mismas. Si analizamos detenidamente los radios



de acción por afectante podemos apreciar que existen zonas donde se interceptan los radios de dos sustancias o más sustancias, en estas áreas de intercepción es donde se alcanza el mayor grado de riesgo y por consiguiente, es donde se esperan las mayores afectaciones, tanto en la población como materiales.

## OTRAS ÁREAS CON PELIGRO DE AFECTACIONES POR PRODUCTOS TÓXICOS.

En el municipio Guantánamo se localizan, además de las ya mencionadas, otras cuatro instalaciones donde se almacenan productos tóxicos (**Tabla II**) y cuya rotura o daño en sus instalaciones productivas, puede producir serias afectaciones en su entorno, los valores en metros de estas áreas se muestran en la **Tabla III**.

En este caso sólo fueron cartografiados los radios de inversión (**Figura 4**) por ser el caso de mayor área de afectación, aunque ninguno de ellos alcanza a la ciudad de Guantánamo.

**Tabla II. Instalaciones donde se encuentran productos tóxicos en el municipio de Guantánamo.**

Instalaciones en el municipio Guantánamo	Coordenadas		Sustancia Tóxica	Cantidad (Ton)
	X	Y		
CAI Argeo Martínez	673250	173630	Acido Clorhídrico	8
Planta de Filtro Clemencia	673550	174900	Cloro	8
Acueducto Clotilde	675900	172625	Cloro	2
Acueducto Chutine	668850	161700	Cloro	1

**Tabla III. Radios letales (L) y afectantes (A) en metros de cada Instalación con productos tóxicos.**

Instalaciones en el municipio Guantánamo	Inversión	
	L	A
CAI Argeo Martínez	110	530
Planta de Filtro Clemencia	1180	5490
Acueducto Clotilde	470	2170
Acueducto Chutine	290	1370

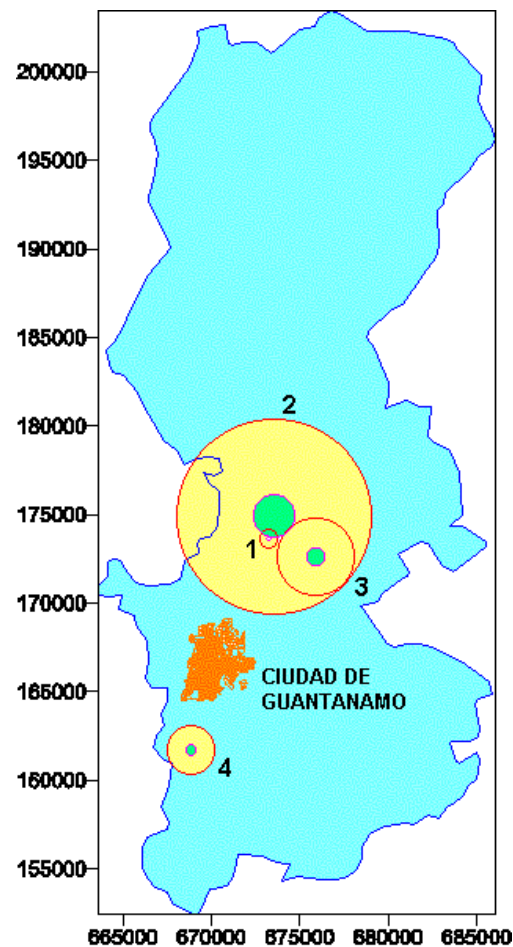
## PREPARACIÓN PARA CASOS DE EMERGENCIA TECNOLÓGICA.

Previendo las situaciones de emergencia es necesario tener cumplimentados los siguientes aspectos en cada instalación:

- El análisis previo de riesgos tecnológicos en la instalación (incluyendo la evaluación de variables meteorológicas).
- La elaboración de planes de emergencia específicos y detallados (identificando las áreas de mayor riesgo).
- La realización de entrenamientos previos y tener garantía de uso de sistemas de señalización, comunicación y alarma.
- La determinación de la situación de la comunidad circundante en lo que respecta a información sobre emergencias tecnológicas potenciales.
- La identificación del equipo necesario para dar respuesta y rehabilitar las averías.
- La definición de estrategias de evacuación, traslado de personas y movimiento de vehículos.



- El mantenimiento y revisiones técnicas periódicas de la instalación.



**Figura 4. Radio de acción letal y afectante de las sustancias tóxicas en cada instalación en estado de inversión.** 1- CAI Argeo Martínez, 2- Planta de Filtro Clemencia, 3- Acueducto Clotilde, 4- Acueducto Chutine. En verde el radio letal y en amarillo el radio afectante.

## CONCLUSIONES.

- El estado de Inversión es el que mayores daños puede provocar en caso de derrame de cualquiera de las sustancias que se almacenan en las industrias analizadas alcanzadas, siendo a su vez el cloro y formol son los causantes de las mayores afectaciones en gran cantidad de las manzanas y por tanto estarán propensos a sufrir alto riesgo en caso de una catástrofe tecnológica inducida por un sismo de gran intensidad o por efecto secundario de fenómenos geológicos y climáticos. Teniendo en cuenta que el cloro letal produce afectaciones hasta una distancia de 290 m de la instalación y afectante hasta una distancia de 1370 m, mientras que el formol letal produce afectaciones hasta una distancia de 210 m de la instalación y afectante hasta una distancia de 970 m. Algo similar ocurre en las cuatro instalaciones que se localizan en diferentes lugares dentro del municipio Guantánamo.



- Existen zonas donde se interceptan los radios de dos sustancias, en estas áreas de intercepción es donde se alcanza el mayor grado de riesgo y por consiguiente, es donde se esperan las mayores afectaciones, tanto en la población como materiales.

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.**

CIGEA-CITMA 2002: Gestión Ambiental de Productos Químicos y Desechos Peligrosos. Monografía.

Guía de Apreciación de los Productos Tóxicos Industriales de los Objetivos Económicos con Peligrosidad Química 1986: República de Cuba. Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias. Imprenta Central de las FAR. La Habana, Cuba.

Módulo de Capacitación, Desastres y Emergencias Tecnológicas. 2000. CNE, Costa Rica.



## EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD EN TALUDES Y LADERAS INESTABLES EN EL CAMINO PUNTA GORDA - LA MELBA, PARQUE NACIONAL ALEJANDRO DE HUMBOLT

**Dra. C. Maday Cartaya Pire<sup>(1)</sup>, Dr. C. Roberto Blanco Torrens<sup>(1)</sup>, Dr.C. Roberto Watson Quesada<sup>(1)</sup>.**

**(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez"**

### RESUMEN

La presente investigación se realiza en el camino minero Punta Gorda - La Melba, ubicado en la porción suroeste de la provincia de Holguín en el municipio de Moa, Cuba. El mismo se efectúa por la necesidad de la evaluación de los movimientos de masas en taludes y laderas inestables en dicho camino y la propuesta de medidas correctoras, debido a que los deslizamientos y desprendimientos ocurridos afectan la utilidad del camino así como el medio ambiente.

La investigación consta de un gran volumen de trabajos experimentales, de campo, in situ y de laboratorio, que constituyen el fundamento para la evaluación geotécnica del macizo. Se realiza además la identificación de los taludes y laderas inestables y los factores condicionantes y desencadenantes de inestabilidades en los mismos; se efectúa la evaluación de las condiciones de estabilidad con el cálculo del factor de seguridad del talud, por el método grafo – analítico y con el método de TAYLOR (1937) entre otros, el factor de seguridad del talud es calculado variando los parámetros geométricos del talud, como ángulo, altura, distancia de la superficie de resbalamiento más probable, como más importantes, hasta obtener en los casos posibles un talud estable. Se proponen también un grupo de medidas correctoras que deben ser aplicadas, para detener los movimientos de masas y la afectación del medio ambiente en parte del macizo montañoso que pertenece al **Parque Nacional Alejandro de Humbolt**.

### ABSTRACT

The present investigation is carried out in the road mining Punta Gorda - La Melba, located in the Southwest portion of the Holguín province in the municipality of Moa, Cuba. The same one is made by the necessity of the evaluation the susceptibility to the movements of masses in slope and unstable hillsides in this road and the proposal of having measured proofreaders, because the landslide and happened detachments affect the utility of the road as well as the environment.

The investigation consists of a great volume of experimental works, of field, in situ and of laboratory it constitutes the foundation for the evaluation geotechnical of the solid one. it is also carried out the identification of the slope and unstable hillsides and the conditioning factors and factors that bring about of uncertainties in these slope; the evaluation of the conditions of stability is made with the calculation of the factor of security of the slope, for the method grafo - analytic and with the method of TAYLOR (1937) among other, the factor of security of the slope is calculated varying the geometric parameters of the slope, as angle, height, distances of the surface of more probable slide, as more important, until obtaining in the possible cases a stable slope. They also intend a group of having measured proofreaders that should be applied, to stop



the movements of masses and the affectation of the environment partly of the rock mass mountainous that belongs to the National Park Alejandro de Humbolt.

## INTRODUCCIÓN

Cuando ocurren corrimientos inesperados en los taludes, los efectos que se producen pueden ser importantes, en numerosos países existen estadísticas impresionantes de grandes cuantías en daños económicos y pérdidas de vidas humanas ocasionados por ésta causa.

En nuestro país no existen datos sistematizados al respecto. No obstante han existido importantes movimientos de tierra, fundamentalmente durante el período de construcción y explotación de obras viales, siendo éste el aspecto que nos ocupa en la presente investigación, que posee como objeto de estudio Los taludes y laderas inestables de un sector del Camino Minero Punta Gorda – La Melba, situado en el Parque Nacional Alejandro de Humbolt.

Desde el punto de vista económico, los daños que se producen por deslizamientos de taludes son importantes, efectuar una valoración global del conjunto resulta muy complejo, sin entrar en valoraciones de tipo cuantitativo, por falta de datos basta pensar en el número de viviendas dañadas en el mundo por estar sementadas en laderas inestables, en los gastos de mantenimiento que se producen para mantener en explotación algunas grandes presas, en los costos de mantenimiento de los trazados de las obras viales, entre otros.

En el camino Punta Gorda - La Melba, existe una gran ocurrencia de deslizamientos y desprendimientos, que han impedido el tránsito por el mismo, trayendo consigo pérdidas económicas, ya que este camino constituye la principal vía de transporte de la Empresa Minera del Cromo y de los pobladores del asentamiento La Melba.

Es importante señalar las grandes afectaciones al medio ambiente y al ecosistema ocasionadas por los movimientos de masas de tierras, aspecto este de relevante importancia ya que el camino Punta Gorda – La Melba se encuentra enclavado en el parque Nacional Alejandro de Humbolt, declarado por la UNESCO, reserva de la Biosfera.

## DESARROLLO

Los taludes estudiados se encuentran en el macizo montañoso Moa-Baracoa localizado en el extremo oriental de la Faja Mayarí-Baracoa, Cuba y presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, de gabros y vulcano-sedimentarios.

Fueron identificados 25 deslizamientos desde el inicio del camino (X: 710957.938; Y: 209475.656) hasta el Arrollo Las Comadres (X: 710118.829; Y:205894.840), cercano al poblado de la Melba, a todos se le realizó el levantamiento Geotécnico, solo a 8 de ellos se le determinaron los factores de seguridad por ser los más significativos, uno de los taludes se encuentra en roca y 7 están casi totalmente en suelo, o material rocoso muy triturado, meteorizado, que puede, por sus propiedades y características físico - mecánicas, ser considerados como un suelo.

El macizo Moa-Baracoa se localiza en el extremo oriental de la Faja Mayarí-Baracoa, ocupa un área aproximadamente de 1500km<sup>2</sup> y presenta un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, de gabros y vulcano-sedimentario. Se ha estimado un espesor de aproximadamente 1000m para el complejo ultramáfico y 500m para el de gabros (Fonseca et al, 1989), mientras que para el complejo vulcano-sedimentario se ha estimado un espesor de 1200m (Quintas, 1988).

El complejo ultramáfico se caracteriza petrológicamente por un predominio de las hazburgitas y en menor medida, de dunitas, además se ha descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas (Cobiella, 1984 y Fonseca, 1994). Las diabasas descritas en la región aparecen principalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros sobre todos en la parte superior del complejo cumulativo.



## **Evaluación geotécnica del macizo en la zona de estudio.**

Del estudio geotécnico del macizo de los taludes evaluados se obtuvo que el agrietamiento de las peridotitas serpentinizadas del **Talud I** que posee una altura de 15m y un ángulo de 50° tienen las siguientes características: El espaciamiento promedio entre grietas es de 30 cm, no poseen relleno, aunque en algunas grietas se observa material incipiente de alteración de la roca matriz, las paredes de las mismas son rugosas, la abertura promedio es menor de 5 mm y por lo general son continuas, sin afluencia de agua, se pueden observar espejos de fricción en algunas, el RQD es de 62,77 para una roca de calidad media, el Jv es de 15,83 grietas/m<sup>3</sup>, el RMR de 27 para una roca de mala calidad, Clase IV, con una cohesión de 0,1 – 2 MPa,  $\phi = 15^\circ - 25^\circ$ , según estimación de Bieniawski, los elementos de yacencia promedio de las grietas son sistema I: 32°/202°, sistema II: 55/038, sistema III: 85/302

Los demás taludes se encuentran totalmente en rocas muy meteorizadas que puede ser consideradas como un suelo, éstas son:

**Talud II:** Peridotita serpentinizada meteorizada, algo descompuesta.

**Talud III:** Peridotita verde alterada.

**Talud IV:** Peridotita serpentinizada muy meteorizada.

**Talud V:** Peridotita meteorizada con material inicial de roca ultrabásica intemperizada.

**Talud VI:** Peridotita alterada con material esmetítico producto inmediato de los procesos de alteración de las rocas ultrabásicas a partir del cual se forma el material ocreo.

**Talud VII:** Peridotitas muy meteorizadas con filones de gabro.

**Talud VIII:** Peridotita muy alterada.

## **Tipología de movimientos.**

Los problemas que presentan la estabilidad de taludes, tanto naturales como excavados, han sido objeto de análisis en varios dominios de la actividad humana y con especial atención los incluidos en la ingeniería civil. El término mas comúnmente usado para designar los movimientos producidos en los taludes es el deslizamiento. Dicho término, de aspecto muy extendido implica movimientos de taludes formados por diferentes tipos de materiales, rocas, suelos, rellenos artificiales o combinación de los mismos, a través de una superficie de rotura determinada. Debido a la diversidad de inestabilidades que se producen en taludes, es más adecuado utilizar el término movimiento de taludes, para englobar todos los tipos de rotura que puedan sufrir éstos.

La inestabilidad de taludes se traduce en una serie de movimiento, que pueden ser clasificados en base a distintos criterios. Los movimientos que se originan con mayor frecuencia, de acuerdo con sus mecanismos de acción en el sector del camino minero analizado son los *desprendimientos* y los *deslizamientos*.

## **Factores que condicionan y desencadenan las inestabilidades en los taludes y laderas analizados.**

Para analizar los movimientos de masas en los taludes, es de primordial importancia el reconocimiento de los factores que condicionan la estabilidad de los taludes y aquellos otros que actúan como desencadenantes de los movimientos.

El conocimiento de ambos factores permite una evaluación del peligro existente, y por tanto, tomar las medidas necesarias para evitar o corregir los posibles movimientos.





La susceptibilidad de que se produzcan movimiento en los taludes objeto de estudio está condicionada por *la estructura geológica, la litología, las condiciones hidrogeológicas y la morfología* propia del área. Una variación de algunas de las condicionantes mencionadas, producidas por causas naturales o debido a la actividad humana, puede traducirse en un incremento o disminución del esfuerzo de corte cuyo efecto inmediato desencadena la inestabilidad de la masa de terreno.

Los factores más importantes que influyen en la estabilidad de los taludes y laderas del camino minero Punta Gorda – La Melva se enmarcan dentro de los naturales y artificiales tales como:

### **Factores naturales.**

Fundamentalmente constituyen factores condicionantes cuando se tratan de agentes que integran *la meteorización*, siendo los *agentes erosivos* los que tienen una mayor incidencia como factores desencadenantes, así como los sistemas de carácter tectónicos que influyen en la corteza terrestre. Este factor es el que más incide en el área de estudio, llegando a afectar la roca que constituye los taludes de tal modo que éstas se pueden considerar como suelos altamente erosionados y meteorizados.

#### *Agua subterráneas.*

En la zona de estudio la absorción de las aguas de infiltración produce una continua expansión y contracción de los suelos, en periodos alternantes de lluvia y sequía, que varían las características resistentes de los mismos.

#### *Lluvia.*

Constituye un factor desencadenante de inestabilidad, contribuyendo a aumentar la acción de diversos factores condicionantes: meteorización, acción de las aguas subterráneas, etc. Cuando el régimen de lluvias es torrencial, el agua caída se canaliza en zonas deprimidas causando acciones similares a las corrientes de agua. Aumenta las supresiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades y grietas, y produce una sobre carga debido a su propio peso. Debido a que se trata de materiales cohesivos, se produce una absorción de agua por los minerales arcillosos y ocasionan un hinchamiento de los mismos, incrementándose las presiones efectivas del terreno, aspecto este que puede observarse en varios taludes analizados.

#### *Sismicidad.*

Constituye un factor desencadenante de grandes deslizamientos, pudiendo ocasionar daños graves. Debido a que la región donde se enclavan los taludes se considera una zona sísmicamente activa, por lo que existe susceptibilidad a que se puedan producir grandes movimientos por esta causa. Esta acción sísmica es compleja y puede originar fenómenos deformacionales que pueden ser de tipo sismo- tectónicos o sismo- gravitacionales.

### **Actividad humana.**

El desarrollo del país incluye un conjunto de acciones encaminadas a crear una infraestructura que permita el progreso del mismo. Donde se destacan los sectores dirigidos a procurar los recursos naturales, y aquellos que permitan los servicios necesarios para su transformación y distribución. Dos de las tareas más importantes son la Minería y las obras civiles. Tanto para la extracción de los yacimientos de cromo, como para el acceso al poblado La Melba, ambos situados dentro del Parque Nacional Alejandro de Humbolt es necesario la construcción y explotación del vial que constituye el objeto de la investigación y que está expuesto a:



#### *Excavaciones.*

Que constituyen unos de los factores desencadenantes más extendidos, debido a la necesidad de realizar desmotes para la construcción del camino. Estas exvaciones necesitan un detallado estudio que garantice la estabilidad de los taludes creados. Al Producir una variación del estado de equilibrio del terreno, traduciéndose en subsidencia, descalces de potenciales superficies de deslizamientos, desequilibrio de masas, etc.

#### *Sobrecargas.*

Es un factor condicionante de los movimientos que modifican el entorno natural en que se produce dicha acción. Debido a que el camino constituye la vía de transporte de los camiones cargados de cromita, se infiere como resultado el incremento de peso al mismo, así también influye la construcción de rellenos, acopios de materiales de diversas índoles, etc y el peso del agua infiltrada en el terreno, como consecuencia de vertimientos de manantiales provenientes de las aguas subterráneas y almacenamiento de agua de lluvia en el pie de los taludes.

Los esfuerzo producidos, generalmente, ocasionan un incremento del esfuerzo de corte del terreno y sobre todo en el caso analizado que se trata de suelos con alto contenido de arcilla, que origina un aumento de la presión intersticial, de esta forma se modifican las condiciones de equilibrio existente en el terreno.

#### *Elementos geométricos del talud.*

Es necesario un análisis general del diseño de los taludes, debido a que su geometría actual, esencialmente el ángulo y la altura de los mismos incide notablemente en la ocurrencia de movimientos del terreno.

### **Métodos de cálculo del factor de seguridad de los taludes.**

Al evaluar la estabilidad de los deslizamientos es preciso tener en cuenta todas las numerosas causas de su formación y condiciones que favorecen su desarrollo. La tarea de esta evaluación consiste en determinar el grado de estabilidad, el grado de peligrosidad de las fallas deslizables para las instalaciones existentes y para la integridad del terreno, así como en planificar la orientación de las medidas contra deslizamiento a fin de prevenir su efecto peligroso.

En el análisis y cálculo del Factor de seguridad ( $F_s$ ) de los taludes evaluados se emplearon esencialmente dos métodos: el Método Grafo – Analítico (Lomtadze. V. D, 1993), con su fundamento en la teoría de equilibrio límite y el método de los ábacos de TAYLOR (1937), (Ayala. F.J, 1991). Al empelar el método grafo – analítico se consideran las rocas homogénea isótropas con superficie cóncava de resbalamiento, para obtener el  $F_s$  en el corte geológico con un radio de una longitud arbitraria se trazaron varias superficies de resbalamiento (SR), considerando estable el talud si por cada SR el  $F_s$  es mayor de 1, por lo que el equilibrio límite de las masas de rocas por esta SR se determina por la igualdad de los momentos de fuerza actuantes.

$$M_d = M_r \text{ Por lo que } F_s = \eta = \frac{M_d}{M_r} = 1$$

Donde:  $M_d$ : Es el momento de las fuerzas que detienen la rotación;

$M_r$ : el momento de rotación.

Basándose en los datos obtenidos, cuando el equilibrio es limite, el coeficiente de estabilidad del talud se determina mediante la siguiente expresión:



$$Fs = \eta = \frac{\sum N_i f + CR}{\sum T_i} = 1$$

Donde: T y N - son las componentes de la fuerza de gravedad.

$t_g \varphi$  = f el coeficiente de fricción interna del material del talud.

C – Cohesión de las rocas.

L – Longitud de la SR.

El análisis de la estabilidad de los taludes con el empleo de los ábacos de TAYLOR(1937) se basó en considerar que las tensiones normales en la superficie de deslizamiento se concentran en un único punto. Con la ayuda de los ábacos proporcionados y asumiendo las simplificaciones indicadas se pudo obtener la altura crítica del talud  $H_c$ , a partir del resto de las características, resistentes y geométricas, del mismo. Por otra parte, para un valor dado de la altura del talud H, se obtuvo el valor crítico para cada uno de los restantes parámetros involucrados en el cálculo. El factor de seguridad se alcanzó mediante tanteos.

En las tablas I, II, III, fotos 1, 2, 3 y figuras No. 1, 2, 3, 4, y 5 que se muestran a continuación se expresan las principales características, elementos geométricos y Fs de tres de los 8 taludes evaluados.

Para los 8 taludes el Fs es el siguiente:

**talud I**, el mismo se encuentra totalmente en roca, por lo que el factor de seguridad fue determinado por el método grafo – analítico y posee un valor de 0,30, por lo que se considera inestable, debido al lugar donde se encuentra, próximo al arrollo “las comadres” y debido a la relevancia del lugar donde se enmarca el camino, “ Parque nacional “Alejandro de Humbolt”, es necesario aumentar su seguridad con medidas correctoras.

**El talud II**, construido en Perridotita serpentizada meteorizada, algo descompuesta, posee actualmente un Fs de 0.32, es inestable a una distancia del borde del talud de 2m,, al realizar los cálculos corrigiendo la superficie de resbalamiento a 5m se obtiene un Fs de 2,63 por lo que el talud comienza a estabilizarse a partir de esa SR.

**El Talud III**, construido en Peridotito verde alterada, en este talud los cálculos de Fs se realizaron por el método de Taylor y se obtuvo  $Fs = 0,18$ , talud inestable, por lo que se efectuaron los cálculos por el método grafo – analítico.

*Primero:* considerando una SR a dos metros del borde del talud, manteniendo su ángulo actual  $80^\circ$ , se obtuvo un Fs de 0,12.

*Segundo:* se disminuyó el ángulo del talud a  $50^\circ$  y se trasladó la SR a 6m, se obtuvo un Fs de 0,41.

*Tercero:* se mantuvo el ángulo de  $50^\circ$  y se corrió la SR a 10 m, se obtuvo un Fs de 0,53.

*Cuarto:* Se mantuvo el ángulo de  $50^\circ$  y se disminuyó la altura la altura del talud a 15m y una SR a 2m, el Fs obtenido fue de 1,40.

Por los que es necesario aplicar medidas correctoras inmediatas pues para varios tanteos este talud es inestable.

**El Talud IV**, construido en Peridotita serpentizada muy meteorizada, este talud posee un Fs de 2,15, según Taylor y 0,20 por el método grafo analítico, debido a la observación visual, este talud es estable, deben aplicarse algunas medidas correctoras.



**El Talud V**, Peridotito meteorizada con material inicial de roca ultrabásica intemperizada, según el método de Taylor, el Fs del talud actual varía entre 0,63 y 0,73, por lo que es inestable, por lo que se varió el ángulo del talud.

*Primero:* a  $70^\circ$ , para un Fs de 0,82, inestable.

*Segundo:* a  $60^\circ$ , para un Fs de 1,01, talud en equilibrio.

*Tercero:* método grafo - analítico, Fs de 5,27, talud estable.

Por lo que este talud se considera estable, pero debe prestársele atención en épocas de lluvia debido a que la roca está muy meteorizada.

**El Talud VI**, construido en Peridotito alterada con material esmetítico producto inmediato de los procesos de alteración de las rocas ultrabásicas a partir del cual se forma un material ocroso, el Fs es de 1,05, talud en equilibrio, para las condiciones actuales, por lo que se disminuyó el ángulo a  $60^\circ$  y se obtuvo un Fs de 1,25.

**El Talud VII**, construido en Peridotitos muy meteorizadas con filones de gabro.

Según Taylor, para las características geométricas actuales el talud es inestable para un Fs de 0,43, por lo que se realizaron los cálculos para:

*Primero:* método grafo - analítico, se mantuvo la altura del talud de 10 m y el ángulo de  $60^\circ$  y se ubicó la SR a 2m, obteniéndose un Fs de 0,15. Talud inestable.

*Segundo:* las mismas características geométricas, ubicando la SR a 5m, se obtuvo un Fs de 0,22, talud inestable.

*Tercero:* Según Taylor, se disminuyó el ángulo del talud a  $50^\circ$  y la altura a 15m para obtener el Fs, obteniéndose un Fs de 1,0, talud en equilibrio. Por lo que se debe prestar atención a los factores desencadenantes de inestabilidades.

**Talud VIII.** Peridotita muy alterada. según Taylor 0,63, mediante tanteos, se obtuvo 1,19 para un promedio de 0,91, talud inestable.

### **Propuesta de medidas correctoras.**

La excavación de taludes, sobre todo para obras civiles en condiciones topográficas difíciles, como laderas muy pendientes, deben ser realizadas con la colocación de elementos resistentes que mejoran la estabilidad, también cuando ya se considera inestable el talud es inminente el empleo de medidas que corrijan el daño causado y evite su propagación, tal es el caso del sector del camino Punta Gorda – La Melba, para el cual se proponen las siguientes medidas.

Deslizamiento I: Empleo de bermas de seguridad aprovechando el control estructural de las grietas

Deslizamiento II: Corrección de la superficie del talud a 5 m de su borde y empleo de gaviones o entramadas de palos para evitar la erosión.

Deslizamiento III: Disminución de la altura y el ángulo. Empleo de muros de contención.

Deslizamiento IV: Empleo de entramadas de palos o gaviones para evitar la erosión

Deslizamiento V: Empleo de bermas de seguridad y disminución del ángulo del talud a menos de  $60^\circ$ .

Deslizamiento VI: Disminución del ángulo del talud a menos de  $60^\circ$  y empleo de entramadas de palos para evitar la erosión y el movimiento de detritos.

Deslizamiento VII: Disminuir el ángulo del talud a menos de  $50^\circ$  y la altura a 15m y emplear muros de revestimiento.

Deslizamiento VIII: Corrección de la superficie del talud y empleo de muros de gaviones o de revestimiento.



## CONCLUSIONES

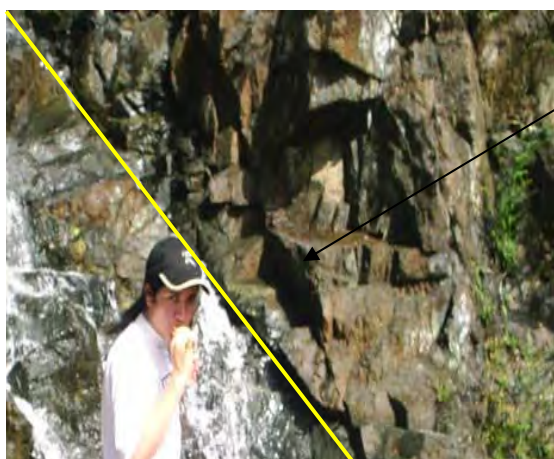
1. Los taludes se consideran inestables.
2. Las principales tipologías de movimientos presentes son los deslizamientos rotacionales y traslacionales con superficies de resbalamiento cóncava y los desprendimientos.
3. Los principales factores condicionantes y desencadenantes de inestabilidades son: los agentes que integran la meteorización, siendo los agentes erosivos los que tienen una mayor incidencia como factores desencadenantes, así como los sistemas de carácter tectónico (fallas y grietas), y los elementos geométricos de los taludes (altura y ángulo). El área posee una determinada climatología y condiciones de sismicidad, que constituyen factores condicionantes y desencadenantes de movimientos en los taludes y laderas

## BIBLIOGRAFÍA

- Ayala, C. F. J. Manual de ingeniería de taludes: Instituto Tecnológico Geominero de España. 1991.
- Cobiella, R. J. Rodríguez, J y Campos, M. Posición de Cuba Oriental en la geología del caribe: Minería y Geología, Vol 2. 65-74p. 1984.
- Fonseca, E y otros. Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica de Cuba: Ciencia de la Tierra y del Espacio. No. 9. 31-46p. 1989.
- Quintas, C. F. Características estratigráficas del complejo ofiolítico y geosinclinal en la cuenca del río Quibiján, Baracoa. Minería y geología. 2-11p. 1988.
- V. D. Lomtadze. Geología Aplicada a la Ingeniería Geodinámica Aplicada a la Ingeniería: Moscú, 1993.

**Tabla No. I. Principales características del Talud I.**

Tipo de roca	clase	Descripción	RQD (%)	Roca/suelo (% roca)	Tipo de fallo	Parámetros del talud	Factor de seguridad Fs
Peridotito serpentizada bastante fresca	I	No hay signos visibles de material meteorizado. La roca tiene algunas grietas manchadas de óxidos de Fe y algo de material milonítico de alteración de zona de sizallamient. La resistencia es parecida a la roca fresca. Mas del 90% es roca.	62,77	95-100	En cuña, o vuelcos, combinados. <b>Talud inestable</b>	Altura: 15 m Ángulo: 50° Ancho del deslizamiento: 7m Largo del deslizamiento: 15m. C=0,1 – 2 MPa $\phi = 15^\circ - 25^\circ$ G =4,0 g/m3	<u><b>Método gráfico</b></u>  0.30



Línea de fallo (Superficie de resbalamiento más probable)

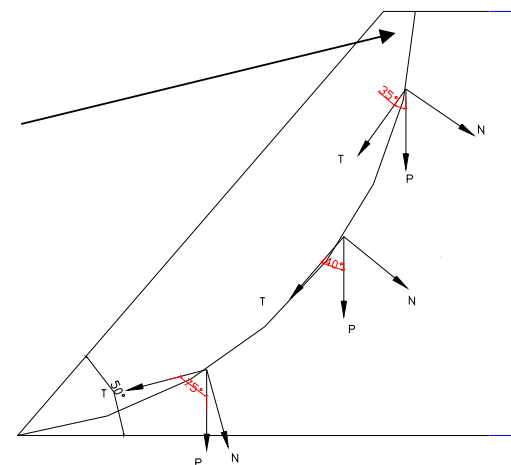


Figura No 1- Talud I

Foto No. 1- Talud I  
PRIMERA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS '2005.  
Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005



Tipo de roca	clase	Descripción	Tipo de fallo	Parámetros del talud	Factor de seguridad Fs
Perridotita serpentizada meteorizada, algo descompuesta	IV	Está tan debilitada por la meteorización que grandes piezas pueden ser separadas o desintegradas con la mano. Se pueden obtener núcleos perforando cuidadosamente. Menos del 50% es roca.	Alta Erosión. No rotacional, Deslizamiento trasnacional. <b>Talud inestable</b>	H =20m Ángulo = 50° Ancho del deslizamiento: 10m Largo del deslizamiento: 17m. C=1,53 MPa $\phi =25^\circ$ G =3,2 g/m3	<b>Método gráfico</b> 0,32 superficie de resbalamiento I (actual) <b>2.63</b> (con superficie de resbalamiento corregida, II)

Tabla No. II. Principales características del Talud II.



Foto No. 2- Talud I I

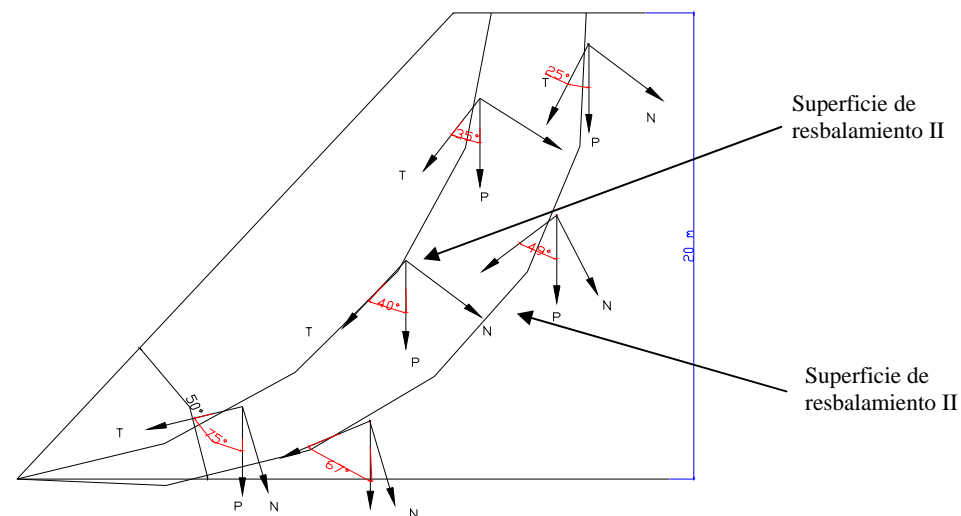


Figura No. 2- Talud I I

**Tabla No. III. Principales características del Talud III.**

Tipo de roca	clase	Descripción	Tipo de fallo	Parámetros del talud	Factor de seguridad Fs
Peridotito verde alterada	V	Roca completamente descompuesta pero la fábrica es reconocible. No se pueden recuperar núcleos. Puede ser excavado con la mano con algún esfuerzo si está húmedo. Resistencia muy baja comparada con la roca fresca. Mas del 90% es suelo.	Planar o traslacional para poco volumen deslizado, y rotacional si aumenta el volumen <b>Talud inestable.</b>	H= 20 m Ángulo = 80° Ancho del deslizamiento: 15m Largo del deslizamiento: 20m. C=2,25 MPa $\phi = 19^\circ$ G =4,0 g/m3	<b>Según Taylor</b> 0,18 <b>Método gráfico</b> 0,12 superficie I 0,41 y 0,53, para superficies de resbalamiento II y III, y 1,40 para superficie IV

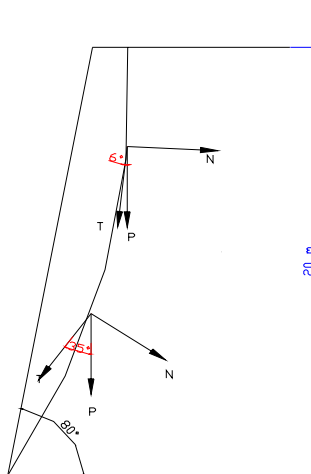


Figura No.3. Talud III, con SR I

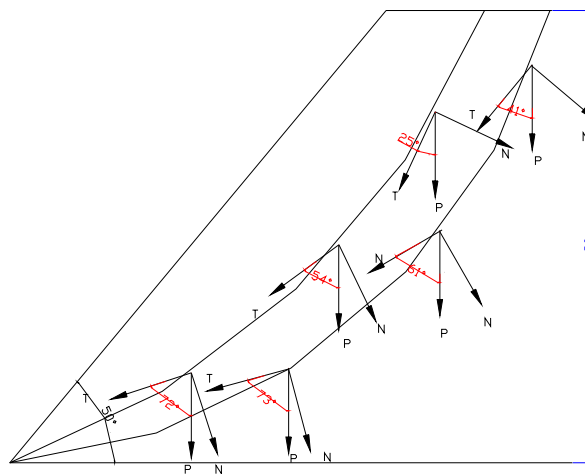


Figura No.4. talud III, con SR II y III

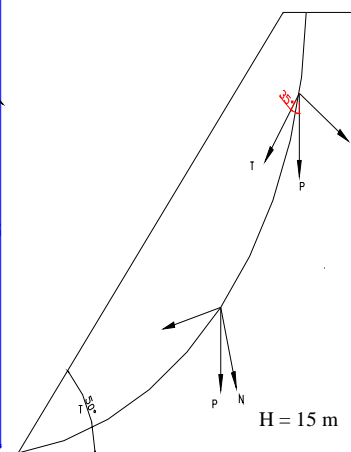


Figura No. 5. Talud III, con SR IV

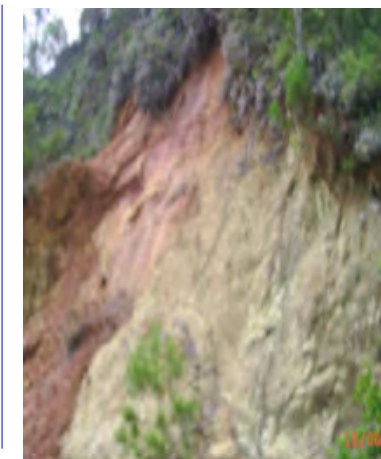


Foto 3. Talud III



## **PELIGBAS: SISTEMA DE BASE DE DATOS DE PELIGROS, VULNERABILIDAD A RIESGOS GEOLÓGICOS Y TECNOLÓGICOS INDUCIDOS. HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN Y EL MANEJO DE LOS PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL MACIZO MONTAÑOSO DE GUAMUHAYA.**

**Bárbara Polo González<sup>(1)</sup> y José L. Cuevas Ojeda<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Dpto. Geofísica Regional y Riesgos, Instituto de Geofísica y Astronomía. Email: [bpolo@iga.cu](mailto:bpolo@iga.cu) ; [jlcuevas@iga.cu](mailto:jlcuevas@iga.cu)

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se expone un sistema de base de datos implementada en Microsoft Access 2000 que muestra un conjunto de mapas temáticos que caracterizan los antecedentes de escenarios de peligros por inundaciones, la geología, la geofísica, la sismología, la geomorfología, los suelos, así como las instalaciones críticas, líneas vitales entre otros. Además un conjunto de mapas de carácter meteorológico que incluyeron un estudio de algunas variables meteorológicas extremas, los mapas de los peligros por deslizamientos de tierra e inundaciones por fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Se incluye además un conjunto de bases de datos auxiliares para una mayor información del usuario, entre ellas podemos señalar, bases de datos sobre los diferentes asentamientos del área de estudio, incluyendo la tendencia poblacional, bases de datos meteorológicas (lluvias, temperatura, humedad), etc. El sistema está preparado para realizar un conjunto de consultas básicas de interés entre las que se encuentran los asentamientos, las líneas vitales, las instalaciones críticas vulnerables por la ocurrencia de deslizamientos de tierra e inundaciones para los diferentes tiempos de recurrencia y otras de interés para el manejo y gestión de los peligros.

Esta base forma parte de los resultados del Proyecto Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados, en los Macizos Montañosos de Guamuhaya y Guaniguanico, perteneciente al Programa Nacional "Desarrollo Sostenible de la Montaña".

El presente trabajo puede ser utilizado como una valiosa herramienta por la Defensa Civil, el Órgano de la Montaña y otros organismos relacionados con el desarrollo sostenible de esta importante área montañosa de nuestro país, ya que puede ser utilizada para la gestión y el manejo de los peligros geológicos en el Macizo Montañoso de Guamuhaya.

### **ABSTRACT**

In the present paper is exposed a database system implemented in Microsoft Access 2000 that shows a group of thematic maps that characterize the antecedents of floods hazard scenarios, the geology, the geophysics, the seismology, the geomorphology, the soils, as well as the critical facilities, vital lines among others. Also a group of maps of meteorological character that included a study of some extreme meteorological variables, the hazard landslides and floods maps for extreme hydrometeorological phenomenon's.

It is also included a group of auxiliary databases for the user's bigger information, among them we can point out, databases on the different establishments of the study area, including the population tendency, meteorological databases (rains, temperature, humidity), etc. The system is prepared to carry out a group of basic consultations of interest among those that are the establishments, the vital lines, the vulnerable critical facilities for the occurrence of landslides and floods for the different times of recurrence and others of interest for the handling and administration of the hazards.

This base is part of the results of the Project of the Geologist-geophysical and Technological Risks zonation associates, in the Guamuhaya and Guaniguanico Mountains, belonging to the National Program "Sustainable Development of the mountain".

The present work can be used as a valuable tool by the Civil Defence, the organ of the mountain and other organisms related with the sustainable development of this important mountainous area of our

country, since it can be used for the administration and the handling of the geologic hazards in the Guamuhaya Mountains.

## INTRODUCCION

En la actualidad el mundo de la informática nos brinda nuevas herramientas que facilitan la creación de sistemas para poder contar con la información requerida en determinada actividad en grandes volúmenes y de manera expedita. Utilizando las facilidades que para operar bases de datos tiene el Microsoft Access 2000 fue creado el presente sistema. Cuyo objetivo principal consiste en la implementación de un sistema de base de datos interactivo que permita a los decisores tanto en el Órgano de Montaña, como en la Defensa Civil, contar con información de los peligros, vulnerabilidad y riesgos, que involucran a los asentamientos e instalaciones sociales. En el presente trabajo se utilizaron los conceptos básicos sobre riesgos expuestos por Ordaz (1996).

Para ello se realizó la integración de la mayoría de la información generada en el proyecto de una manera sistematizada y resumida que muestra un conjunto de mapas temáticos que caracterizan los antecedentes de escenarios de peligros por inundaciones, la geología, la geofísica, la sismología, la geomorfología, los suelos, así como las instalaciones críticas, líneas vitales entre otros. Además un conjunto de mapas de carácter meteorológico que incluyeron un estudio de algunas variables meteorológicas extremas, los mapas de los peligros por deslizamientos de tierra e inundaciones por fenómenos hidrometeorológicos extremos.

Se incluye además un conjunto de bases de datos auxiliares para una mayor información del usuario, entre ellas podemos señalar, bases de datos sobre los diferentes asentamientos del área de estudio, incluyendo la tendencia poblacional, bases de datos meteorológicas (lluvias, temperatura, humedad), etc. El sistema está preparado para realizar un conjunto de consultas básicas de interés entre las que se encuentran los asentamientos, las líneas vitales, las instalaciones críticas vulnerables por la ocurrencia de deslizamientos de tierra e inundaciones para los diferentes tiempos de recurrencia y otras de interés para el manejo y gestión de los peligros.

Hasta el momento es el primer Sistema de Base de Datos de este tipo para la gestión de los peligros, vulnerabilidad y los riesgos de los sistemas montañosos de Cuba; importancia práctica innegable, pues puede y debe ser utilizado como una valiosa herramienta por la Defensa Civil, el Órgano de la Montaña y otros organismos relacionados con el desarrollo sostenible de esta importante área montañosa de nuestro país, ya que puede ser utilizada para la gestión y el manejo de los peligros geológicos en el Macizo Montañoso de Guamuhaya.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos incluidos en la Base de Datos PELIGBAS están espacialmente georeferenciados, cada localidad está plenamente identificado en mapas escala 1: 50 000, referidas a las coordenadas planas. La estructura de base esta compuesta por 14 Menú, 116 mapas y 14 consultas con criterios de selección bien definidos.

Los mapas utilizados en el presente sistema de base fueron confeccionados en el SIG que se implementó para el proyecto, soportado por el ArcView v3.2, se seleccionaron los siguientes grupos de mapas: Temáticos, de Peligros, Riesgos y Vulnerabilidad.

Entre los Mapas Temáticos se encuentran: Generales, Geólogos-geofísicos, Geomorfológicos, Topográficos, Tecnológicos, Climáticos y Suelos.

Los Mapas de Peligros fueron divididos en dos grupos, los relacionados con Peligros entre los que se encuentran: los sismológicos, los de factores de susceptibilidad y factores disparadores y los Mapas de Peligros, compuesto por: los Mapas de Inundaciones, Tecnológicos y Deslizamientos. Un detalle mayor se verá más adelante.

Otra fuente de datos para el presente sistema fue el SIG\_ Guamuhaya facilitado por el Programa Sostenible de la Montaña (Rivero et al.,2000), de donde se obtuvo principalmente para la confección del PELIGBAS los datos de Asentamientos Humanos, Asentamientos Dispersos, Consejos Populares, Municipios, Tipología de la Vivienda y Población del Macizo Montañoso.

### Descripción de la base de datos

Al entrar a la base de datos, aparecerá una pantalla principal, que lo guiará dentro de la misma, facilitando el acceso a los Mapas, Base de datos y Consulta, permitiendo una visualización de los mapas y documentos que contienen información.( ver figura.1)



Fig. 1. Menú Principal



En la Tabla. I se muestra una breve descripción de las características de cada uno de los Menú que componen el presente sistema y que están relacionados con el Menú Principal lo que facilita la "navegación" por el mismo.

Tabla.I: Estructura del módulo del sistema de manejo de datos.

NOMBRE DEL MENÚ	DESCRIPCIÓN
<b>PRINCIPAL</b>	En este Menú se encuentran la información de cada uno de los sitios del Sistema
<b>MENU CONSULTA</b>	Puede seleccionar que consulta desea ver: Consulta sobre Asentamientos, Humanos, Consejos Populares, Municipios, Asentamientos Humanos Dispersos, Tipología de las Viviendas, etc
<b>MAPAS TEMATICOS-PELIGROS</b>	Se encuentra la información para poder ver: Mapas Temáticos, Mapas de Peligros, Mapas de Vulnerabilidad, Mapas de Riesgos.
<b>MAPAS TEMATICOS</b>	En esta Menú podrá encontrar información para ver: Mapas Geólogos_geofísicos, Geomorfológicos, suelos, Tecnológicos, Generales, Topográficos y Climáticos, así como el listado de autores de cada uno de los mapas información de fechado(isotópica o paleotológica) de cada sitio
<b>MENU MAPAS CLIMATICOS</b>	Muestra como ver: Mapas de Lluvias Máximas en 24 horas, Mapas Temperaturas Máximas en 24 horas, Mapas Temperaturas Mínimas en 24 horas, Mapa de Evaporación, Mapa de Ubicación de los Pluviómetros
<b>MAPAS DE PELIGROS</b>	Este Menú se divide en dos grupos: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mapas Relacionados: Sismología, Factores de Susceptibilidad y Factores Disparadores</li> <li>✓ Mapas de Peligros: Inundaciones, Deslizamientos y tecnológicos</li> </ul>
<b>MENÚ SISMOLOGIA</b>	Este menú contiene información para ver: Mapa de Zonas Sismogeneradoras, Mapa de epicentros Mapa de Intensidades Máximas ocurridas y Mapas de Intensidades Máximas
<b>FACTOR DISPARADOR</b>	Este Menú contiene cómo ver: Mapa de Factor Disparador de Lluvia, Sismológico
<b>MENÚ FACTOR SUCEPTIBILIDAD</b>	Muestra como llegar a: Mapa de relieve, Litológico, Hídrico, Humedad y Deslizamiento
<b>MENÚ MAPAS DE VULNERABILIDAD</b>	Este menú muestra como poder ver los mapas de vulnerabilidad por: Lluvias Intensas , Deslizamiento Inundaciones y Sísmica
<b>MENÚ MAPAS DE RIESGOS</b>	Este menú muestra como poder ver los mapas de vulnerabilidad por: Lluvias Intensas , Deslizamiento Inundaciones y Sísmica



Partiendo del Menú Principal se puede acceder a los diferentes Menú (Tabla I) de forma interactiva. De esta manera se puede ver los mapas que componen cada una de los temas que propone el Menú.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo funciona este sistema de manera interactiva.

Si se desea conocer la zona del Macizo Montañoso Guamuhaya que puede ser afectado por inundaciones de lluvias intensas se procede de la siguiente forma:

Partiendo del Menú Principal (Fig. 1) se procede a hacer clic en el Botón Mapas inmediatamente se abriría el Menú Mapas Temáticos-Peligros (Fig. 2)

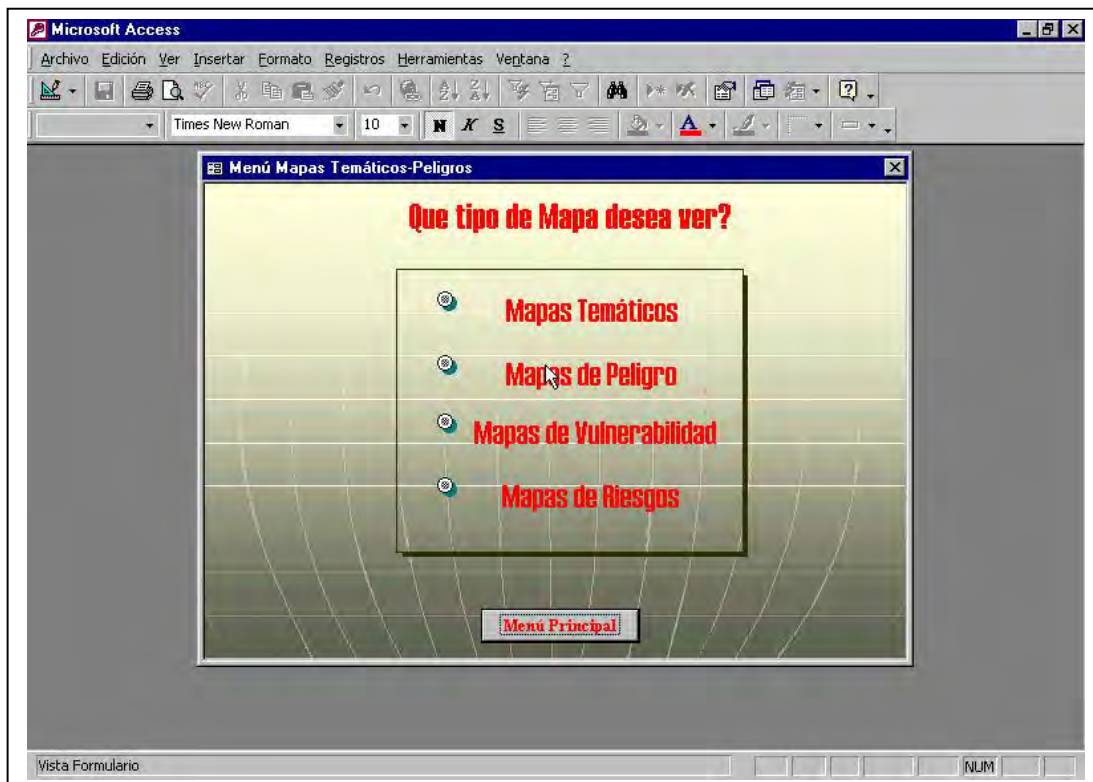


Fig. 2. Menú Mapas Temáticos\_ Peligros

Obsérvese que con este menú se puede trasladar para ver los Mapas Temáticos, de Vulnerabilidad o de Riesgos En el centro Inferior se encuentra un botón **Menú Principal** con el que puede regresar al menú principal si así lo desea. Al dar clic en el botón de Mapas de Peligro aparece el siguiente Menú (Fig. 3)

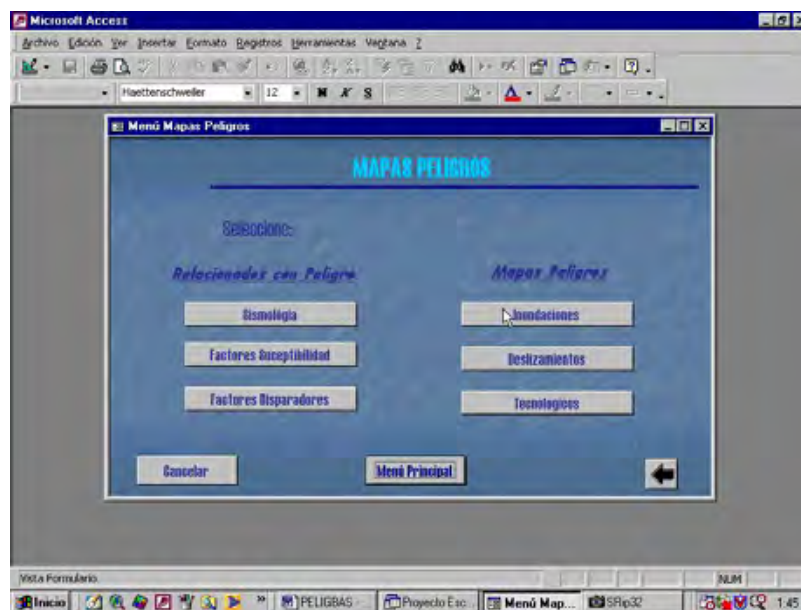







Fig. 3 Menú Mapas Peligros

La figura nos muestra el Menú de Mapas de Peligro en el que se seleccionará en el grupo de mapas de peligro el botón de inundaciones **Inundaciones** para ver el mapa deseado. También se puede observar en el mencionado menú que existe en la parte inferior el botón Cancelar **Cancelar**, que cancelara la acción, también encontramos el Botón Menú Principal que abrirá dicho menú (Fig. 1) y por último el tercer botón nos llevara de regreso al Menú Mapas Temáticos\_ Peligro (Fig. 2)

Luego de seleccionar el botón correspondiente al mapa que se desea consultar, aparecerá en pantalla el formulario Mapas de Peligro por Inundación permitiendo la visualización de los mapas de peligro por Inundación para los períodos de recurrencia  $T= 5, 10, 15, 20, 50$  y  $100$  años y los diferentes poblados afectados para estos períodos, Fig. 4

En la parte inferior derecha de la pantalla se encuentra los botones de desplazamiento  que permite moverse por los diferentes mapas que componen el formulario, también se encuentra el botón de vista previa a la impresión , el botón de impresión  y el botón para buscar  un mapa determinado dentro del presente grupo de mapas. Si se desea regresar al menú de Mapas de Peligro (Fig. 3) seleccionando el botón que nos indica la flecha señalando a la izquierda  se cerrará el formulario activo e inmediatamente aparecerá el Menú deseado.

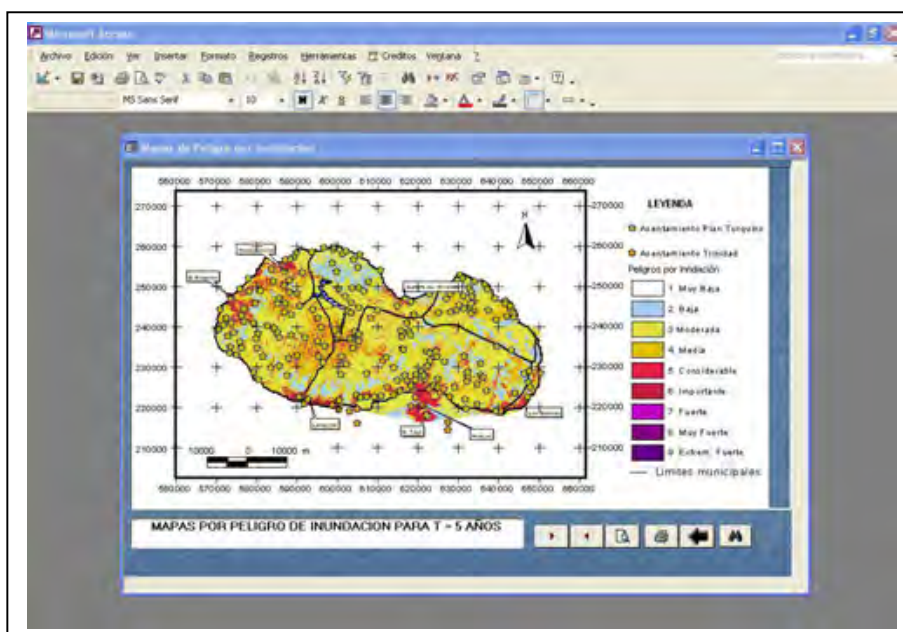


Fig. 4 Mapa de Peligros por Inundación

## CONSULTAS

Dentro de los diferentes menú que componen el sistema de base de datos PELIGBAS, se encuentra el Menú Consulta (Fig. 5) donde se muestran las diferentes consultas que componen el sistema, las cuales a su vez están relacionadas con los diferentes Mapas en los cuales están presentes los Asentamientos, además entre otras también se encuentran consultas sobre la Tipología de la Vivienda para cada asentamiento (INV, 1997), con la provincia, municipio y consejo popular a que pertenecen.

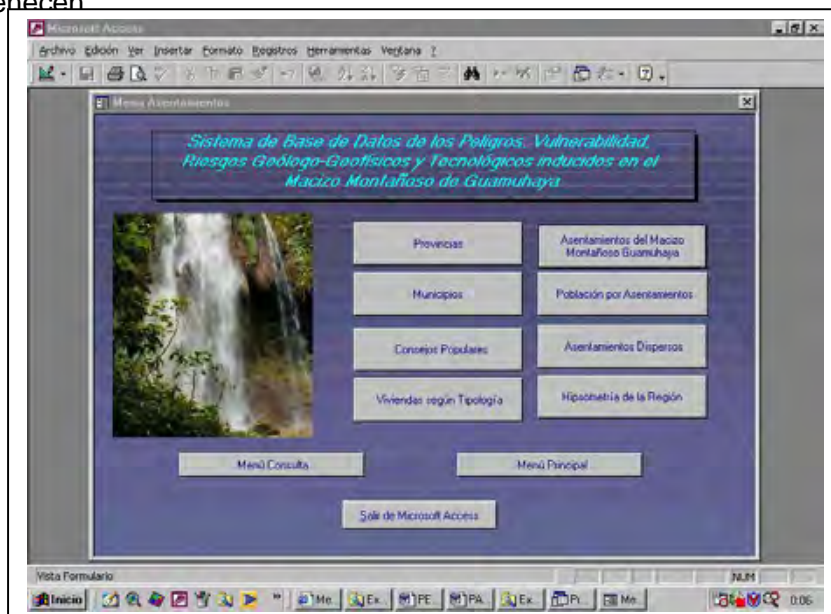


Fig. 5 Menú Consultas

Entre otras consultas que se pueden hacer al sistema están las relacionadas con los asentamientos que se encuentran en la zona de peligros de deslizamiento e inundaciones por lluvias intensas, aspecto estos importantes para los decisores de la Defensa Civil y los órganos de montaña ya que pudieran ser una útil herramienta en la toma de decisiones para la mitigación de los desastres que pudieran ocurrir por estos fenómenos.

## RESULTADO Y DISCUSIÓN

Se obtuvo un sistema de base de datos implementada en Microsoft Access 2000 que de forma interactiva muestra un conjunto de mapas temáticos que caracterizan los antecedentes de escenarios de peligros por inundaciones, la geología, la geofísica, la sismología, la geomorfología, los suelos, así como las instalaciones críticas, líneas vitales entre otros. Además un conjunto de mapas de carácter meteorológico que incluyeron un estudio de algunas variables meteorológicas extremas, los mapas de de los peligros por deslizamientos de tierra e inundaciones por fenómenos hidrometeorológicos extremos (Cuevas et al., 2005; 2004, 2002)

Se incluye además un conjunto de bases de datos auxiliares para una mayor información del usuario, entre ellas podemos señalar, bases de datos sobre los diferentes asentamientos del área de estudio, incluyendo la tendencia poblacional, bases de datos meteorológicas (lluvias, temperatura, humedad), etc. El sistema está preparado para realizar un conjunto de consultas básicas de interés entre las que se encuentran los asentamientos, las líneas vitales, las instalaciones críticas vulnerables por la ocurrencia de deslizamientos de tierra e inundaciones para los diferentes tiempos de recurrencia y otras de interés para el manejo y gestión de los peligros.

La presente versión de Peligbas tiene como fundamental novedad, el que de una selección amplia de mapas que se muestran, pueden realizarse ampliaciones y funciones propias de un sistema de información geográfica, de los mapas mostrados. Lo que le da una mayor dimensión al sistema, pues permite al usuario poder interactuar con la información.

El presente trabajo puede ser utilizado como una valiosa herramienta por la Defensa Civil, el Órgano de la Montaña y otros organismos relacionados con el desarrollo sostenible de esta importante área montañosa de nuestro país, ya que puede ser utilizada para la gestión y el manejo de los peligros geológicos en el Macizo Montañoso de Guamuhaya

## CONCLUSIONES

- ✓ El Sistema de Base de Datos PELIGBAS permite obtener información acerca de los antecedentes de escenarios de peligros por inundaciones, la geología, la geofísica, la sismología, la geomorfología, los suelos, así como las instalaciones críticas, líneas vitales entre otros.
- ✓ Permite de una manera interactiva dar a conocer los mapas de los peligros por deslizamientos de tierra e inundaciones por fenómenos hidrometeorológicos extremos, así como los asentamientos comprendidos en estas zona de peligros, además los mapas de riesgos por Inundaciones, deslizamientos y sísmica brindan

una importante información sobre las posibles zonas afectadas en caso de ocurrir estas catástrofes.

- ✓ El presente trabajo puede ser utilizado como una valiosa herramienta por la Defensa Civil, el Órgano de la Montaña y otros organismos relacionados con el desarrollo sostenible de esta importante área montañosa de nuestro país.
- ✓ Es el primer Sistema de Base de Datos de este tipo para la gestión de los peligros, vulnerabilidad y los riesgos de los sistemas montañosos de Cuba importancia práctica innegable, pues puede y debe ser utilizada para la gestión y el manejo de los peligros geológicos siendo una valiosa herramienta para la Defensa Civil, el Órgano de la Montaña y otros organismos relacionados con el desarrollo sostenible de esta importante área montañosa de nuestro país.

## RECOMENDACIONES

- ✓ El Sistema de Base de Datos PELIGBAS puede ser utilizada para la gestión y el manejo de los peligros geológicos en el Macizo Montañoso de Guamuhaya
- ✓ Divulgar El Sistema de Base de Datos PELIGBAS entre la comunidad geocientífica y la Defensa Civil que tengan que ver con el desarrollo sostenible de la zona montañosa perteneciente al Plan Turquino-Manatí utilizando diferentes vías.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cuevas, J. L., L. A. Díaz, I. I. Pedroso, S. E. Pacheco, I. González, B. Polo, M. Guerra, Y. González, E. Jaimez y J. F. Alcalde, 2002. "Mapas Temáticos para la Estimación de la Vulnerabilidad, Peligros y Riesgos Geólogo-Geofísicos en el Macizo Montañoso de Guamuhaya" [inédito]. Inf. Result. Proy. "Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados, en los Macizos Montañosos de Guamuhaya y Guaniguanico, Cuba", Dpto. Geof. Reg. y Riesgos, Inst. Geof. y Astron., La Habana, 41 pp + 17 anex. gráf.
- Cuevas, J. L., B. Polo, I. I. Pedroso, M. J. Fundora, L. A. Díaz, J. F. Alcaide, E. Jaimez, M. Guerra, Y. González, S. E. Pacheco, B. E. González, J. A. García, L. D. Pérez, G. Saura González, R. Osés y W. Hernández, 2005. Estimación y Zonación de Escenarios de Peligros y la Vulnerabilidad por Procesos Gravitacionales e Hidrometeorológicos Extremos, en el Macizo Montañoso de Guamuhaya, Cuba: Una Metodología de Estimación para zonas montañosas. Memorias GEOCIENCIAS 2005 (I Conv. Cub. Cienc. de la Tierra: VI Cong. Cub. Geología: Simposio Sismicidad y Riesgos Geológicos), La Habana 5-8 Abril, 15 pp.
- Cuevas, J. L., B. Polo, M. J. Fundora, I. I. Pedroso, L. A. Díaz, J. F. Alcaide, E. Jaimez, B. E. González, J. A. García, M. B. Vega, Y. González, S. E. Pacheco, G. Saura, R. Osés, W. Hernández, E. Flores y L. D. Pérez, 2004. Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados, en el macizo Montañoso de Guamuhaya y Guaniguanico, Cuba. [inédito]. Inf. Cient.-Téc. Final, Archivo Inst. Geof. y Astron., La Habana, 127 pp.
- INV (Instituto Nacional de la Vivienda), 1997. "Programa para el desarrollo Tecnológico de la Vivienda en el Período 1997-2000, Cent. Téc. Vivienda y el Urbanismo, La Habana, Cuba.
- Ordaz, M., 1996. "Algunos conceptos del análisis de riesgos". Prevención No. 14, CENAPRED.
- Rivero, F. y otros, 2000. "Confección del SIG para el Sistema Montañoso Guamuhaya" [inédito]. Inf. Cient.-Téc. Final, Archivo PNCT "Desarrollo Sostenible de la Montaña", La Habana, 145 pp.



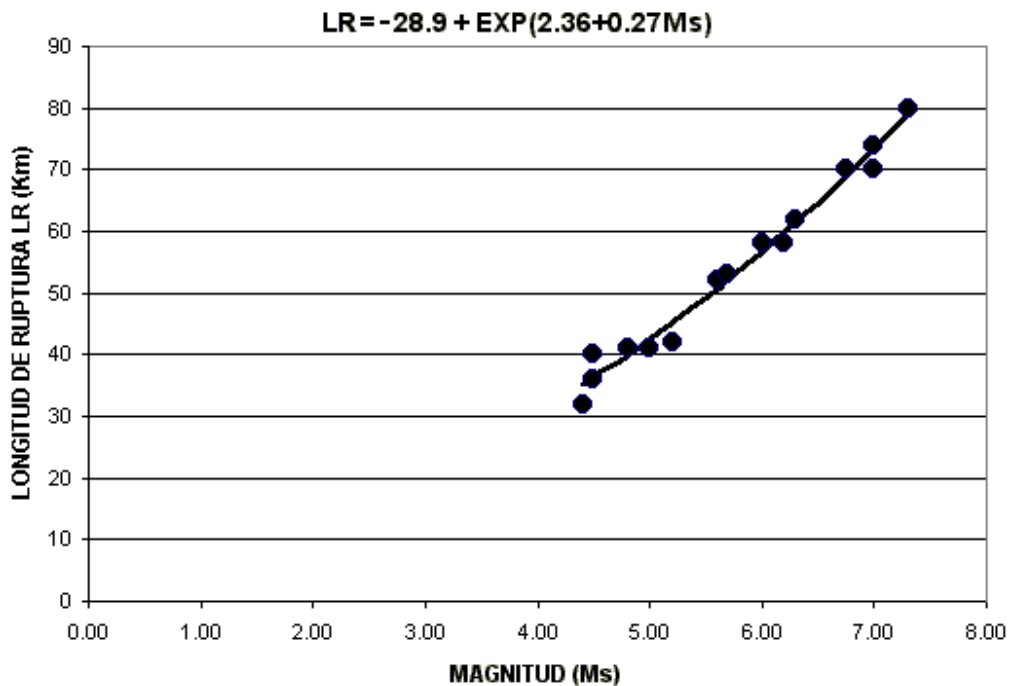


## TERREMOTOS FUERTES EN EL ARCHIPIÉLAGO CUBANO. PARAMETROS Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.

Dr. Tomás J. Chuy Rodríguez

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas

Se presentan precisiones sobre los parámetros y principales características de los terremotos perceptibles y fuertes más significativos reportados en el archipiélago cubano (1502 – 2004), en particular se muestran consideraciones sismotectónicas como la longitud de ruptura LR en dependencia de la magnitud  $M_s$  de los terremotos en las zonas activas cubanas. Complementando estos resultados, se muestra la incidencia de las estructuras fuente en la forma, dirección y extensión de las áreas pleistosísticas de los sismos perceptibles y fuertes. Se consideran en estos resultados sismos de Jamaica, Haití, República Dominicana e Islas Caimán.



Longitud de ruptura de estructuras activas del archipiélago cubano para caso de terremotos moderados y fuertes.



## ATLAS DIGITAL DE RIESGOS NATURALES Y TECNOLÓGICOS DEL MUNICIPIO PLAYA, CIUDAD DE LA HABANA, CUBA.

**Ida Ines Pedroso Herrera** <sup>(1)</sup>, Manuel Fundora Granda, <sup>(1)</sup>Ismael González Metauten <sup>(1)</sup>, Yhoama González Jorge <sup>(1)</sup>, Mario Guerra Oliva <sup>(1)</sup>, Efrén Jaimez Salgado <sup>(1)</sup>, Silvestre Elier Pacheco Moreno <sup>(1)</sup>, Bertha Elena González Raynal <sup>(2)</sup> Luis David Pérez Lara <sup>(2)</sup>, Carlos Llanes Brusón <sup>(2)</sup>, Emigdo Suárez <sup>(2)</sup> y Liván Hernández <sup>(2)</sup>

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía/CITMA, (2) CENAI-HABANA/CITMA, (3) PREMIDES, ISPJAE/MES, Cuba.

Se presenta el Atlas Digital de Riesgos Naturales y Tecnológicos del municipio Playa en Ciudad de la Habana. El Atlas está dividido en diferentes secciones donde se reflejan en forma de texto, acompañados de tablas, figuras y mapas las principales características físico-geográficas del territorio estudiado.

Las Secciones son:

- 1.- Características Generales
  - Ubicación Geográfica
  - División Político-administrativa
- 2.- Peligros Naturales
  - Geológicos
    - Sismológico
    - Deslizamientos
    - Hundimientos carsticos
  - Geofísicos
    - Ciclones Tropicales
    - Lluvias Intensas y fuertes vientos
    - Penetraciones del Mar
  - Hidrológicos
    - Inundaciones costeras
    - Inundaciones fluviales
    - Inundaciones terrestres
- 3.- Mapas del Medio Físico
  - Mapa geomorfológico de depresiones y lineamientos
  - Mapa geomorfológico de los bloques neotectónicos y de las terrazas marinas
  - Mapas Paleo geográficos de la Primera y Segunda Etapas Evolutivas.
- 4.- Elementos Expuestos
  - Mapa de Topología Constructiva predominante según clasificación MSK
  - Mapa de Susceptibilidad Habitacional y Poblacional. Técnico vs. Topología
- 5.- Vulnerabilidad
  - Mapas de Vulnerabilidad a Sismos de diferente intensidad
  - Mapa de Vulnerabilidad a los Deslizamientos
  - Mapa Vulnerabilidad a los Huracanes de diferentes categorías.
  - Mapa de Vulnerabilidad a las Inundaciones
  - Mapas Vulnerabilidad a Penetraciones del Mar
- 6.- Riesgos Naturales
  - Mapa de Riesgos ante sismos. Daños moderados y Ligeros para sismos.
  - Mapa de Riesgos de deslizamientos por sismos e intensas lluvias
  - Mapa de riesgos ante inundaciones
  - Mapa de Riesgos ante vientos huracanados

El Atlas se presenta en formato hmtp a partir de los mapas confeccionados con ayuda de los SIG Mapinfo y Arcview. El dominio por parte de los órganos de gobierno, la Defensa Civil y los residentes en el municipio de la situación de los peligros que pueden afectar al mismo, la vulnerabilidad de las instalaciones y los vecinos antes estos fenómenos y los riesgos que ello entraña, les permite actuar como agentes activos en las tareas de prevención, enfrentamiento, mitigación y recuperación ante cualquiera de estos eventos peligrosos. De aquí que el principal objetivo de este Atlas sea **“contribuir a la divulgación del conocimiento de los Peligros, la Vulnerabilidad y los Riesgos**



**Geológicos, Geofísicos-meteorológicos y Tecnológicos a ellos asociados, que están presentes en el territorio”** de estos agentes activos contribuyendo así a la mitigación de la vulnerabilidad.

## **TIPOLOGÍA DE MOVIMIENTOS DE MASAS EN CORTEZAS LATERÍTICAS RESIDUALES DEL TERRITORIO DE MOA.**

**Yuri Almaguer Carmenates<sup>(1)</sup>, Rafael Guardado Lacaba<sup>(1)</sup>**

***(1) Departamento de geología Facultad de Geología y Minería, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. yalmaguer@ismm.edu.cu***

El presente trabajo titulado "Tipología de movimientos de masas en cortezas lateríticas residuales del territorio de Moa" tiene como objetivo principal caracterizar los diferentes tipos de movimientos de masas desarrollados en los taludes y laderas presentes en las cortezas lateríticas residuales y como objetivos específicos evaluar las características estructurales del macizo rocoso, evaluar la meteorización desde el punto de vista ingeniero geológico y clasificar los taludes desde el punto de vista geomecánico. Para cumplir los objetivos se ha trabajado según metodologías establecidas para estos estudios. La cual consistió en marchas de reconocimiento en las cuales se ubicaron y documentaron los deslizamientos presentes, caracterizando el tipo de material, dimensiones, condiciones del agua, tipo de movimiento, causales, etc. Además se efectuó el análisis estructural a partir de las mediciones de elementos de yacencia de todas las familias de grietas así como la caracterización de la superficie, espaciamiento, y apertura de las mismas. Otro elemento importante fue la valoración geotécnica de los horizontes lateríticos y su relación con los procesos de meteorización y los tipos de movimientos. Como resultados se brinda un inventario de los diferentes deslizamientos documentados, diagramas de rosetas y de contorno con las principales familias de grietas en el macizo rocoso y en la corteza laterítica. Se muestra, además, un análisis de los tipos de movimientos y su relación con la estructura del macizo y el grado de meteorización de la roca.



## CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA DE LA CIUDAD DE MOA, PROVINCIA HOLGUÍN.

**Jorge L. Noas Hernández<sup>(1)</sup> y Tomás J. Chuy Rodríguez<sup>(2)</sup>**

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 18 s/n e/ 1ra y Maceo. Reparto El Llano. Holguín. Cuba. ZIP 80 100, E-mail: noas@sismo.holguin.inf.cu

(2) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 17 # 61 entre 4 y 6, Reparto Vista Alegre. Santiago de Cuba. Cuba. E-mail: chuy@cenais.ciges.inf.cu

### RESUMEN

Los desastres son eventos generados por un manejo inadecuado de los riesgos que representan las amenazas naturales o antrópicas. Para prevenir los desastres uno de los primeros pasos que se deben acometer es precisamente la caracterización de los peligros o amenazas.

La ciudad de Moa posee una población de alrededor de 50 000 personas y una amplia infraestructura industrial y social. La misma se ha visto afectada en diferentes grados por diversos fenómenos naturales y antrópicos que influyen negativamente en la calidad de vida de sus pobladores, entre estos fenómenos se destacan los terremotos.

En este trabajo se valora la peligrosidad sísmica de la ciudad de Moa. Para esto se parte del análisis del entorno sismotectónico regional, de la actividad sísmica y finalmente se determina el peligro sísmico haciendo uso del método del árbol lógico mediante la combinación de los resultados obtenidos en trabajos previos.

Se observa que la ciudad de Moa se encuentra ubicada en una zona tectónica compleja en la que se manifiesta un incremento notable de la actividad sísmica con respecto a épocas anteriores, la cual alcanzó su punto máximo en la serie de terremotos iniciada en 1998. No obstante, la mayor amenaza proviene de la Zona Sismogénica Oriente, en la que incluso pueden producirse terremotos de magnitud 8.0.

En concordancia con las exigencias de la Nueva Norma Sísmica Cubana, para una probabilidad de ocurrencia de la amenaza del 15 % y tiempos de vida útil de 50 años, se obtuvo una aceleración horizontal efectiva de 110.30 cm/s<sup>2</sup> considerando perfiles de suelos de cimentación de tipo S2, la cual se corresponde con una intensidad sísmica de VII grados en la escala MSK.

### ABSTRACT

Disasters are events generated by inadequate management of risks represented by natural or anthropic hazards. To prevent disasters, one of the first steps that should be undertaken is the characterization of hazards.

The city of Moa has a population around 50 000 inhabitants, and a wide industrial and social infrastructure. It has been affected in different degrees by diverse natural and anthropic phenomena with negative influence in the quality of life of its citizens, between these phenomena stand out the earthquakes.

In this job we made a seismic hazard assessment of Moa. To do this we analyzed regional seismotectonics and seismic activity and made use of the logic tree method combining previously obtained results.

It can be noticed that Moa is located in a tectonically complex zone, in which an increment of seismic activity is manifested with respect to previous periods of time. This activity had its maximum expression in the seismic series that began in 1998. Nevertheless, the Oriente seismogenic zone represents the biggest threat to the city; it can generate earthquakes of magnitude 8.0

According to requirements imposed by the New Cuban Seismic Code, a value of 110.30 cm/s<sup>2</sup> for effective horizontal peak acceleration is obtained, with a 15% probability of exceedance in a 50 year



period, considering soil profiles type S2. It corresponds to seismic intensity of VII degrees in the MSK scale.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Moa se fundó a fines del siglo XIX, aunque ya desde 1937 existía un pequeño asentamiento poblacional que se dedicaba a la explotación de los recursos forestales de la zona. Actualmente posee una población de casi 50 000 personas que, en un área de sólo 15 km<sup>2</sup>, conviven con una amplia infraestructura de servicios, industrial y social (CNNG, 2000). Además de los factores antrópicos que influyen negativamente en la calidad de vida de sus pobladores (Brefe, 2000), la ciudad se ha visto afectada en diferentes grados por diversos fenómenos naturales entre los que se destacan, en los últimos años, la intensificación de la actividad sísmica (Noas, 2002).

Por cuanto se trata de una ciudad que fue erigida sin tomar en cuenta el peligro potencial que presuponen los terremotos, sus habitantes, instalaciones y medio ambiente son vulnerables ante la ocurrencia de este tipo de fenómenos que pueden convertirse en un desastre al ser catalizados por inadecuadas políticas de desarrollo así como la no aplicación de normas y materiales de construcción adecuados. El primer paso en la mitigación de desastres es el manejo de los riesgos, para lo cual es necesario, en primera instancia, la evaluación de la amenaza o peligro.

En el presente trabajo realizaremos una caracterización de la amenaza sísmica de la ciudad de Moa en términos de aceleración e Intensidad de acuerdo a los requerimientos planteados en el código de construcción NC 53-114:99 (MICONS, 1999).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se utilizó la información más actualizada sobre la sismicidad y condiciones sismotectónicas de la región de estudio con que cuenta el CENAI, así como se analizó toda la base de datos del catalogo de sismos desde el Siglo XVI hasta la fecha de realización del trabajo, lo cual permitió obtener los valores específicos del peligro sísmico para el área de estudio.

Para la valoración de los estimados de Peligrosidad Sísmica se tomaron en cuenta la definición de los parámetros de las Zonas Sismogénicas (ZS) de mayor influencia sobre la zona, las características del régimen sísmico de los eventos generados en estas y sus efectos en el área de estudio, las leyes de atenuación del parámetro que se utilice para medir el efecto, así como el propio método de cálculo del peligro. En concordancia con las exigencias de la Norma Sísmica Cubana vigente (MICONS, 1999) se obtienen los valores de aceleración horizontal efectiva y de la intensidad sísmica correspondiente, para una probabilidad de ocurrencia de la amenaza del 15 % y tiempos de vida útil de 50 años, considerando perfiles de suelos de cimentación de tipo S2.

## RESULTADOS

### Características sismotectónicas regionales.

La tectónica actual de Cuba oriental se distingue por una significativa actividad en la que están presentes los movimientos verticales y fundamentalmente los horizontales,





relacionados con su ubicación en las proximidades del límite de transformación Ca-Na (Cobiella, 1984; Hernández, 1989; Iturralde-Vinent, 1994, 1998, 2003). Como resultado de la interacción de la microplaca del Caribe y la placa Norteamericana, sobre la porción oriental del territorio cubano actúan esfuerzos compresivos de dirección norte-noreste condicionando la desarticulación del territorio en un sistema de bloques tectónicos cuyos límites por lo general tienen una naturaleza disyuntiva. Se destacan en la región oriental los macrobloques Holguín, Mayarí – Moa – Baracoa y Sierra Maestra y las cuencas Cauto – Nipe, y San Luis – Guantánamo (Orbera y Babaev, 1988).

La ciudad de Moa se localiza geográficamente en los 20.65° Latitud Norte, 74.93° Longitud Oeste (fig. 1). Desde el punto de vista tectónico se encuentra ubicada dentro del macrobloque Mayarí – Moa – Baracoa de tipo horst (elevado). En la región afloran rocas de la antigua corteza oceánica formada por ultrabasitas serpentinizadas muy tectonizadas e intemperizadas de la asociación ofiolítica, resultado de un largo proceso transformativo del basamento oceánico que existió al sur desde el Triásico superior al Cretácico inferior, que se encuentra fuertemente desmembrada y con interrelaciones entre los diferentes niveles que se conservan solo parcialmente, y secuencias de rocas terrígenas carbonatadas formadas en el Neógeno – Cuaternario que se formaron en la última etapa de evolución geológica de Cuba (Nagy et al, 1976). En el territorio de interés la actividad neotectónica se pone de manifiesto a través de los sistemas de estructuras activas por medio de movimientos verticales, horizontales y rotacionales entre los diferentes bloques y sub-bloques morfotectónicos, notándose el predominio de los desplazamientos verticales de carácter ascendente (Rodríguez, 1998).

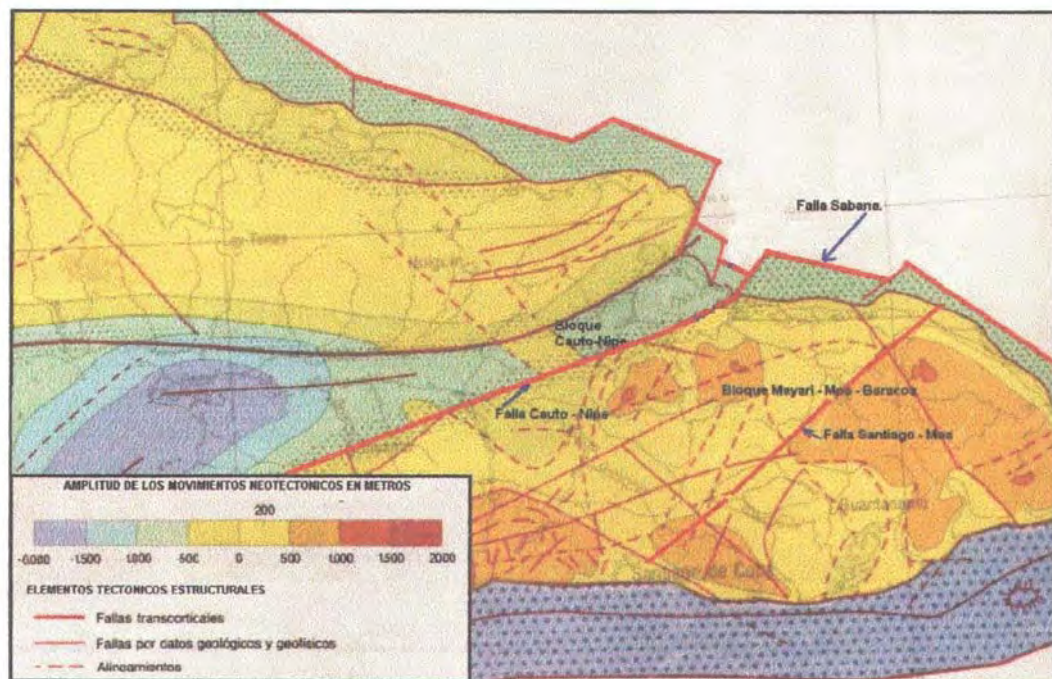


Figura 1. Esquema Geotectónico de la región oriental (Orbera, 1989).

Entre los sistemas de fallas fundamentales que ejercen gran influencia en la zona se encuentran Cauto-Nipe, Sabana, Santiago-Moa, Baconao y Purial; estos constituyen



zonas de origen de terremotos o Zonas Sismogénicas (ZS) que fueron definidas y caracterizadas mediante el consenso de expertos (Comisión Ad Hoc, 1991) (figura 2).

De acuerdo a los estudios mencionados, la falla Cauto–Nipe o Cauto está asociada a una zona de fractura de dirección SO-NE, cuya extensión alcanza los 270 km. aproximadamente con una profundidad media de 30 km., separando los macrobloques Holguín y Mayarí–Moa–Baracoa. Su ancho se estima entre los 20 y los 30 km. Presenta un movimiento lateral vertical, considerándose una falla normal hacia el lado de la depresión Cauto Nipe (340 grados) de carácter cortical, con ángulos de buzamiento de 60-80 grados. Puede generar sismos con magnitud máxima de 7.0, la liberación de la energía en esta estructura se ha puesto de manifiesto con la ocurrencia de terremotos de hasta 8.0 grados de intensidad en la escala MSK.

La falla Sabana es la parte oriental de la estructura conocida como Norte Cubana, ocupando casi 1000 km. a lo largo de los cuales se observan desplazamientos verticales de hasta 300 m. Se encuentra dislocada por fallas internas del territorio cubano con dirección Caimán SW-NE y NS-SE, manifestándose como un escalonamiento de fallas normales de dirección NE separados de 10-15 km., de edad postmiocénica, que separa el borde nororiental del megabloque cubano y la depresión submarina de sutura del Canal Viejo de Bahamas. La sismicidad de esta zona es bastante significativa en volumen, distribuyéndose fundamentalmente en los lugares de intersección con las fallas que la cortan de dirección SW-NE, lo cual hace que se diferencien tres sectores. Puede generar sismos de magnitud máxima 7.0.

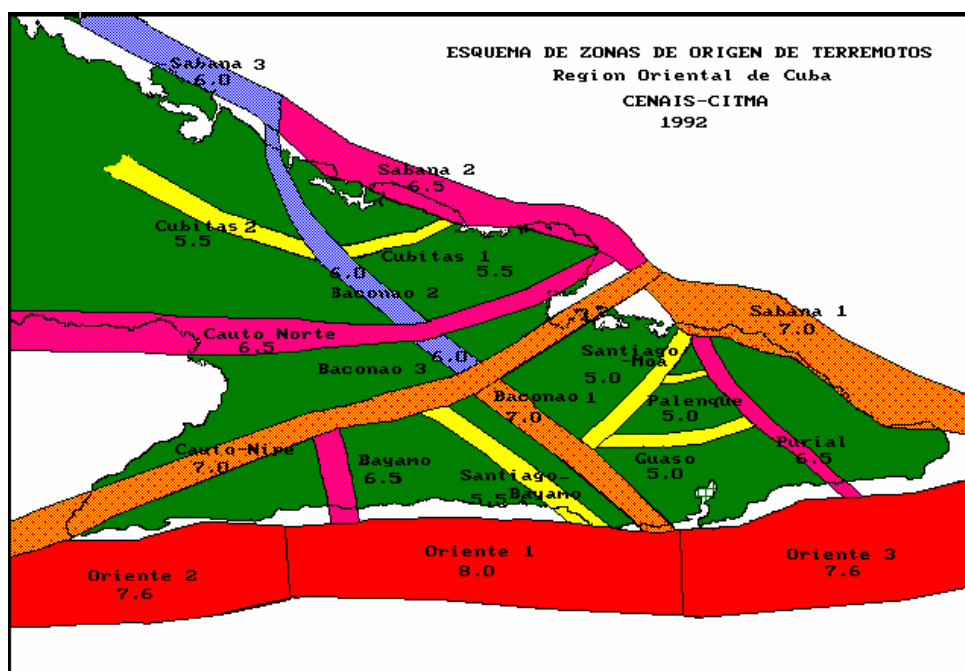


Figura 2. Mapa de Zonas Sismogénicas de la región oriental (Comisión Ad Hoc, 1999).

La falla Santiago–Moa de dirección NE-SW, posee importancia regional, la misma fue detectada por investigaciones geofísicas profundas que arrojan un desplazamiento del basamento rocoso, dislocando a la falla Oriente y probablemente a la falla Sabana. Tiene una longitud de 150 km. aproximadamente. Su actividad sísmica se manifiesta



fundamentalmente en la intersección con las fallas de dirección NW-SE que la cortan transversalmente. Tiene un ancho de 7 a 15 km. y una profundidad entre 25 y 30 km. con movimiento lateral-vertical. Constituye un límite de bloques y mesobloques morfotectónicos indistintamente, reflejándose su actividad en las diferencias de altura de la superficie de nivelación (20-45 m) y en el carácter y tendencia de los movimientos neotectónicos. Los sismos más fuertes que puede generar son de magnitud 5.0.

La ZS Baconao se asocia a la falla homónima, se subdivide en dos sectores: el suroriental que transcurre en dirección SE-NW y el noroccidental. De estos el primero tiene una extensión de alrededor de 100 km separando territorios de macrobloques morfotectónicos. Posee una actividad sísmica significativa, fundamentalmente en la intersección con la ZS Oriente; puede generar sismos de magnitud máxima 7.0.

La ZS Purial se asocia a una zona de fallas profundas de carácter cortical. No tiene una clara expresión en el relieve, pero se refleja bien en los campos físicos. A esta ZS están asociadas manifestaciones sísmicas con epicentros de baja energía, fundamentalmente. Es capaz de generar eventos de hasta 6.5 grados de Magnitud Richter.

Por ser la zona de mayor potencialidad sísmica del territorio oriental, en la que pueden surgir eventos con magnitud máxima de 8.0 y donde se han producido 20 de los 28 sismos más fuertes catalogados en el territorio cubano: dos de ellos con Intensidad máxima XIX MSK (Chuy et al, 1992), se ha de tomar en consideración la influencia de la ZS Bartlett Caimán u Oriente para las determinaciones del peligro sísmico que se acometan en la región oriental. Se considera una falla transcortical con una extensión de más de 1600 km. y un ancho de 100-150 km. aproximadamente, con una profundidad de más de 50 km. El acimut de buzamiento de la falla principal al Sur de la Sierra Maestra es de 180 grados como dirección predominante. Este sistema constituye la estructura geodinámica más importante del norte del Caribe y tiene un carácter transformante (Calais y Lépinay, 1993, entre otros), distinguiéndose cuatro sectores que se diferencian por su régimen geodinámico (Arango, 2000).

En similar situación que la SZ Oriente se encuentra la ZS La Española, específicamente su sector Norte. La ZS Española Norte constituye la prolongación hacia el Este del límite entre las placas de Gonave y de Norteamérica. La componente principal del movimiento es de desplazamiento lateral siniestro, aunque posee una componente de subducción. Esta zona posee una alta sismicidad, alcanzando algunos terremotos magnitudes superiores a 8.0 Richter, aunque su potencialidad alcanza hasta 8.3.

## **Sismicidad**

En el territorio cubano se manifiesta actividad sísmica de intraplaca y de interplaca, ambas presentes en la región oriental (figura 3). Como hemos mencionado, la ZS Oriente constituye un límite de placas litosféricas y asociado a esta se presenta el primer tipo de sismicidad, caracterizado por una ocurrencia mayor de sismos y la liberación de considerable energía. El segundo tipo se presenta en el resto del territorio diferenciándose por la baja frecuencia y energía de los terremotos.

El área de estudio ha manifestado históricamente un bajo nivel de actividad sísmica, ya que no existen reportes históricos de la ocurrencia de algún terremoto fuerte con epicentro cercano a esta localidad con anterioridad al 20 de marzo de 1992 (Chuy, 1999). Esta fecha, debido a la ocurrencia de un terremoto de magnitud Richter  $M_s = 4.5$ , a 36 km al



Este de la ciudad de Moa, frente al sector de costa de la localidad conocida como Cupey, en la ZS Sabana, es considerada el preludio de la activación sísmica de la región de Moa (Colectivo, 1999).

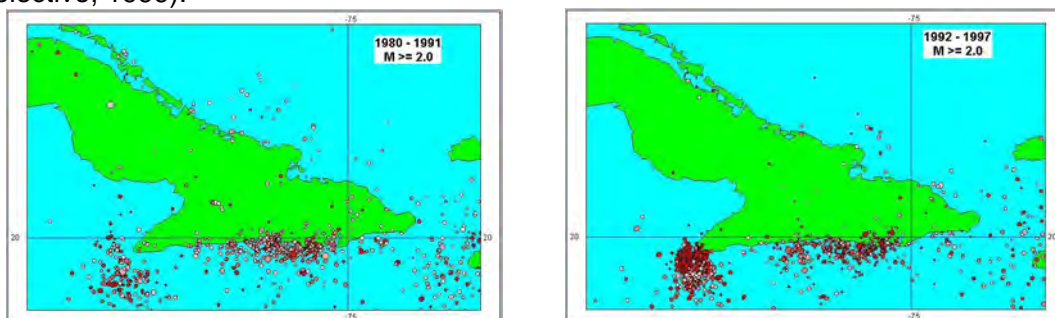


Figura 3. Mapas de epicentros de Cuba oriental para diferentes períodos de tiempo.

El terremoto de 1992 produjo una intensidad sísmica máxima de VI grados MSK en la ciudad de Moa y localidades cercanas, produciendo en la primera agrietamientos de paredes en escuelas y edificios de viviendas. Los efectos de este evento fueron sentidos en toda la provincia Guantánamo y algunos municipios de las provincias de Holguín, Santiago de Cuba y Granma.

Otros 3 sismos fueron reportados por la población de Moa con intensidad de IV grados MSK (Colectivo, 1999). El primero de éstos, ocurrió el 2 de Marzo de 1994 ( $M_s = 5.6$ ), al Norte de República Dominicana, el segundo ocurrió el 13 de septiembre de 1996 ( $M_s = 3.3$ ) y el otro tuvo lugar el 19 de Abril de 1998 ( $M_s = 3.5$ ), en el Macizo Moa – Baracoa, a unos 20 Km. al sur de Moa, el cual tuvo una réplica perceptible con intensidad de III grados MSK.

Posteriormente, el 28 de Diciembre de 1998 comenzó una larga serie sísmica, iniciada por un fuerte temblor ( $M_s = 5.5$ ) que generó intensidades de hasta VI grados MSK en esa ciudad, produciendo incluso agrietamiento de paredes en edificios de viviendas. Hasta el 4 julio de 1999 se reportaron 16 eventos perceptibles y fueron registrados por nuestra red de estaciones 437 temblores de diferentes rangos energéticos. El 5 de julio de 1999 ocurre otro sismo ( $M_s = 3.2$ ), a 17 km al Suroeste de la ciudad de Moa, a una profundidad de 15 km, que produjo intensidades de V grados en la escala MSK en las ciudades de Moa y Sagua de Tánamo. Este terremoto fue sentido también, aunque con una intensidad de IV grados MSK, en las localidades de Nicaro y Frank País. Las características de esta serie conducen a suponer que aunque tiene relación genética con la primera, pues le sirve de disparador, se produce en una falla o sistema de fallas independiente (Noas, 2002).

En la figura 4 se cartografían los terremotos registrados por la Red de Estaciones del CENAIIS durante el período 1998 – 2003. Es evidente la localización de 2 áreas de mayor concentración de epicentros al Noreste y Suroeste de la ciudad de Moa en correspondencia con las dos series mencionadas anteriormente. Aunque la mayor parte de los eventos fueron débiles, durante estas series se registraron un total de 1 858 réplicas, de las cuales 37 fueron perceptibles (CENAIIS, 2001).

La actividad sísmica actual de la región, lleva a pensar que la ausencia de reportes de perceptibilidad de sismos anteriores al 1992 se debe a lo que es una ciudad de fundación relativamente reciente, cuyo desarrollo demográfico está estrechamente ligado al auge de





la minería a partir de 1956. Por lo tanto podemos tener la certeza de que, en la zona donde se encuentra la ciudad de Moa, se debieron sentir muchos terremotos. Algunos de ellos pueden haber ocurrido en la zona de Moa, mientras que otros tuvieron su epicentro fuera de ella, al Norte de la Española o al Sur de la región Oriental entre otras zonas activas.

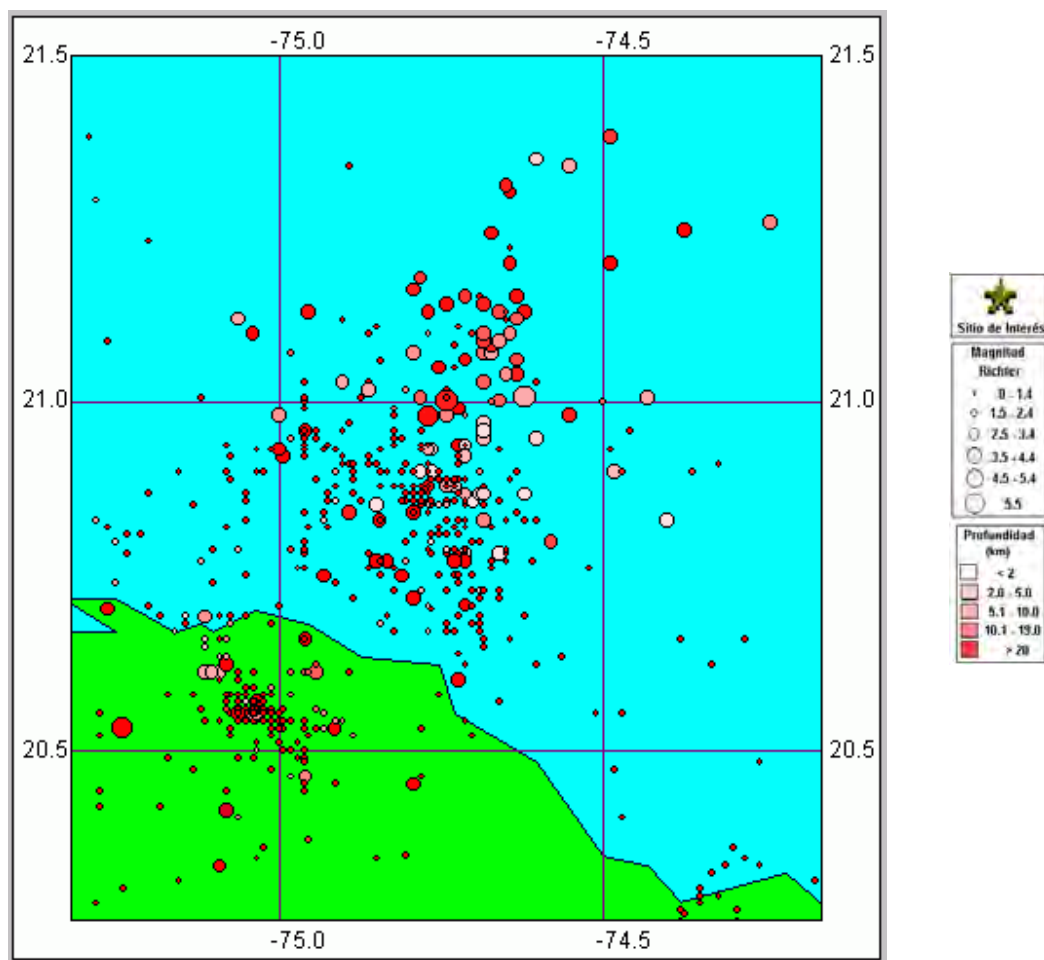


Figura 4. Mapa de epicentros de terremotos registrados por la Red de Estaciones del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (1998 – 2003).

Para suplir la falta de información macrosísmica, se utilizó el modelado de efectos de terremotos fuertes con epicentro en las ZS que representan mayor amenaza para la región de estudio; para esto se utilizó el programa MACRO (Pico y Chuy, 1990). Estos estimados se dan a continuación y se resumen en la tabla I.

Terremotos con epicentro en la ZS Sabana en 1528 ( $M_s = 5.0$ ) y 1914 ( $M_s = 6.2$ ) debieron provocar intensidades de V grados MSK. El primero de estos sismos, pionero de los reportados en el archipiélago cubano, afectó la villa de Baracoa con intensidad de 6.0 grados MSK, mientras que el segundo provocó fuertes daños en Gibara (VII grados MSK) y fue sentido en toda la región oriental.



Terremotos con epicentro en la ZS Cauto – Nipe, aunque en la provincia Granma, ocurrieron en 1551 ( $M_s = 5.8$ ) y 1624 ( $M_s = 5.2$ ), que produjeron VIII y VII grados MSK en la ciudad de Bayamo. Estos terremotos debieron producir intensidades de alrededor de IV y III MSK en la zona estudiada.

El terremoto de 1927, asociado a la porción oriental de la ZS Baconao, que provocó intensidades de VI grados MSK en la región Santiago – Guantánamo, debió ser perceptible en el área de interés con intensidad de III–IV grados MSK.

Terremotos de intensidad IX MSK, afectaron seriamente áreas de la provincia de Santiago de Cuba en 1766 ( $M_s = 7.6$ ) y 1852 ( $M_s = 7.3$ ), reportándose de ambos considerables daños en toda la región oriental, en particular en el territorio de la provincia Holguín debió provocar afectaciones de hasta VI–VII grados MSK en toda la zona de interés. Otros terremotos que más recientemente han afectado, pero con menor fuerza, al área de estudio desde la región Suroriental se señalan en 1932 y 1947 (ambos  $M_s = 6.5$ ), los cuales provocaron intensidades de V grados MSK, en la ciudad de Moa.

Terremotos fuertes generados en ZS activas al Norte y Sur de la vecina isla de La Española también han de ser tomados en consideración a la hora de determinar el peligro sísmico a que está sujeta esta región. En esas ZS se reportan históricamente varios terremotos de consideración, incluyendo uno de magnitud 8.2 en 1842, cuya área de perceptibilidad cubrió toda nuestra región oriental, señalándose incluso en el área de interés un estimado de VII grados MSK.

Tabla I. Resumen de los efectos máximos reportados o estimados, para algunos de los sismos más importantes, en términos de Intensidad MSK para la ciudad de Moa.

ZS	Año	$M_s$	Intensidad en Moa
Sabana	1958	5.0	V
Sabana	1914	6.2	V
Oriente	1766	7.6	VI-VII
Oriente	1852	7.3	VI-VII
Española Norte	1842	8.2	VII

### Peligro Sísmico

La metodología para llevar a cabo las estimaciones del Peligro Sísmico Puntual de períodos de recurrencia o retorno de sacudidas de diferentes valores de intensidad (o parámetros del movimiento del terreno), parte del criterio de unificar diferentes trabajos de peligrosidad sísmica realizados, que se diferencian un tanto en los datos iniciales y cuyos resultados son procesados para la confección de mapas y gráficos que permiten realizar las estimaciones.

Los siguientes trabajos han sido empleados por nuestra institución en los Estimados del Peligro Sísmico:

1. Trabajos para el Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Realizados en celdas de  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$  en términos de Intensidad Sísmica (Alvarez et al, 1989; Alvarez et al., 1991).
2. Zonaciones sísmicas detalladas de la nueva Norma Sismorresistente Cubana (NNSC). Realizadas en celdas de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  en términos de Intensidad Sísmica y Aceleración Pico Horizontal (Chuy et al, 1992; Chuy y Alvarez, 1995).





3. Estimados probabilísticos de la Peligrosidad Sísmica de Cuba. Realizados en celdas de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  en términos de Intensidad Sísmica y Aceleración Pico Horizontal (Rodríguez et al, 1996). Se utilizaron los métodos de cálculo de Cornell, (1968) y McGuire, (1993).

A partir de las bases de datos de los resultados iniciales de estos trabajos se obtuvieron, utilizando una interpolación espacial por el método del inverso de la distancia, los valores de los períodos de recurrencia correspondientes al área de interés ( $20.65^\circ$  Latitud Norte,  $74.93^\circ$  Longitud Oeste), para diferentes valores de aceleración horizontal máxima. Los períodos de retorno (T), correspondientes al valor medio de los trabajos antes mencionados, se calcularon asignando un peso a cada trabajo según la calidad de los datos y criterios que emplean para el análisis de cada uno de los elementos del peligro sísmico que intervienen en cada método. El mayor peso corresponde a los estimados realizados con el método de Cornell y al de la NNSC. Para el caso en que no fueron posibles sacudidas de un valor dado por alguno de los trabajos se asumió un período de recurrencia de 10 000 años.

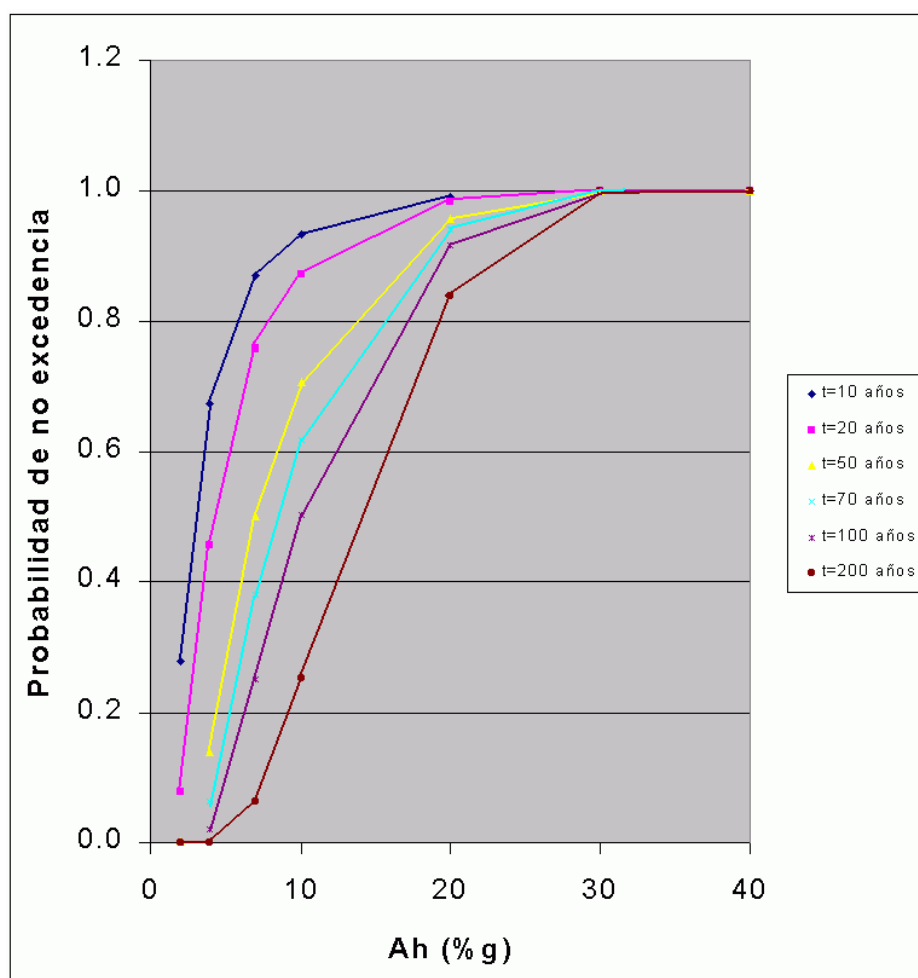


Figura 5. Periodos de recurrencia o retorno (T) de los estremecimientos en el área de estudio, para valores de Aceleración horizontal máxima (Ah) y diferentes tiempos de vida útil (t).



A partir de esos valores medios se confeccionaron, utilizando un modelo poissoniano de ocurrencia de sacudidas, las curvas de probabilidad de que no sean igualados o excedidos valores dados de intensidad y aceleración horizontal para tiempos de espera de 10, 20, 50, 70, 100 y 200 años (Figura 5)

La ciudad de Moa se encuentra situada sobre rocas ultrabásicas serpentinizadas muy tectonizadas e intemperizadas. Producto de este intemperismo se ha desarrollado en esta región una corteza de suelo formado por lateritas de coloración rojiza, de composición areno arcillosa limosa, que puede llegar a alcanzar en algunos lugares las decenas de metros de espesor (Colectivo de autores, 2000), lo cual puede condicionar algún incremento de la intensidad sísmica. Este perfil de suelo, en correspondencia con la NSC, se considera de tipo S3.

Sin embargo, en otros sitios la corteza de intemperismo es de pocos centímetros de espesor, como se pudo observar en afloramientos situados en los alrededores del mismo, lo cual puede indicar que su cimentación debe estar sobre rocas serpentiniticas intemperizadas (perfil S2), las cuales poseen parámetros físico-mecánicos más favorables que los suelos.

Los estimados de Peligrosidad Puntual en términos de Aceleración horizontal efectiva (Ahe) e Intensidad Sísmica (I), se presentan en la tabla II. Se obtuvieron para una probabilidad de ocurrencia del 15 % de los valores de Amenaza y tiempo de vida útil de la instalación de 50 años, según los requerimientos de la nueva Norma Sísmica Cubana (MICONS, 1999).

Tabla II. Parámetros del Peligro Sísmico puntual para los perfiles de suelo S2 y S3 presentes.

Parámetro	S2	S3
Ahe (cm/seg <sup>2</sup> )	110.30	137.81
I (MSK)	7.0	7.0

## CONCLUSIONES

La actividad sísmica presente en la zona de Moa es inusual si se tiene en cuenta que no existen reportes de estremecimientos en fechas anteriores a la década del 90. No obstante, se debe tomar en cuenta que se trata de una ciudad joven y que precisamente esta debe ser la causa de que no existan evidencias directas de una actividad sísmica importante.

Las necesidades del desarrollo socio-económico del país y del territorio holguinero condujeron a la potenciación del desarrollo minero de la región de Moa (zona de alta complejidad geólogo-tectónica), lo cual trajo como consecuencia la elevada concentración en esta de población, infraestructuras y tecnologías, algunas de ellas con características potencialmente dañinas para el entorno y las personas.

La ciudad de Moa es la que presenta mayor riesgo sísmico en la provincia Holguín, sin embargo, este riesgo está dado no tanto por la amenaza sísmica a que se encuentra expuesta, sino por su vulnerabilidad al constituir asiento de una población que se ha desarrollado sin tomar en consideración esta amenaza.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, J. L., et al., 1989. Sección III. Características Geofísicas. Sección VI. Clima. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba, Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía e Instituto Geográfico Nacional (España).
- Alvarez, J. L., et al., 1991. Peligrosidad Sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del Territorio Nacional. En: Geofísica, No. 35, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, pp. 125 - 150.
- Arango, E., 2000. Geodinámica del sistema de fallas transformante Bartlett-Caimán, al sur de Cuba oriental. Red de estaciones e investigaciones sismológicas en Cuba. Ed. Academia, La Habana, pp. 72-87.
- Breffe, J., 2000. Impacto Socio Ambiental en la Comunidad Minera de Moa. Tesis en opción a Master en Ciencias Ambientales. ISMM Moa.
- Calais, E., M. Lépinay, 1993. Semiquantitative modelling of strain and kinematics along the Caribbean/North America strike-slip plate boundary zone. J. Geophys. Res., Vol. 98, pp. 8293-8308.
- Comisión Nacional de Nombres Geográficos, 2000. Diccionario Geográfico de Cuba. Ediciones GEO, La Habana, 386 p.
- Cornell, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am. 58, pp 1583-1606.
- Chuy, T., 1999. Macrosísmica de Cuba y su utilización en los estimados de Peligrosidad y Microzonificación Sísmica. Tesis de opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas. Fondos del CENAI.
- Chuy, T., J. L. Alvarez, 1995. Peligrosidad sísmica de Cuba con fines de la norma sismorresistente cubana. X Foro de Ciencia y Técnica, La Habana, diciembre de 1995, 21 p.
- Chuy, T.; J. L. Alvarez, J. Zapata, B. González, et al., 1992. Investigaciones sismológicas complejas para el Complejo Hidroenergético Toa-Duaba. Reporte de Investigación. Fondos del CENAI.
- Cobiella, J., 1984. Sobre el origen del extremo oriental de la fosa de Bartlett. Editorial Oriente. Santiago de Cuba. 90 p.
- Colectivo de autores, 2000. Informe Geotécnico para Proyecto Ejecutivo de la Chimenea de la Caldera de la Termoeléctrica de la Moa Nickel S.A. Fondos de la ENIA, Holguín.
- MICONS, 1999. Norma Sísmica Cubana NC 53-114:99. Fondos del MICONS y Fondos del CENAI. Cuba. 103 pp.
- Comisión Ad Hoc para la determinación de las zonas sismogeneradoras de Cuba y zonas aledañas, 1991. Dictamen conclusivo. Reporte de investigación. Fondos del CENAI y de ENERGOPROYECTO. MINBAS, 24 pp.
- Hernández, J. R., R. González, F. Arteaga, 1989. Diferenciación morfoestructural de la zona de sutura de la Microplaca Cubana con la Placa del Caribe. Editorial Academia, La Habana, 48 p.
- Iturralde-Vinent, M., 1994. Cuban Geology: A New Plate-Tectonic Synthesis. Journal of Petroleum Geology. Vol 17. p. 39-70.
- Iturralde-Vinent, M., 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. pp. 9-56. En Melgarejo J. C., J. A. Proenza, Geología y Metalogenia de Cuba: Una introducción. Acta Geológica Hispánica v. 33, no. 1-4.
- Iturralde-Vinent, M., 2003. Ensayo sobre la Paleogeografía del Cuaternario de Cuba, pp. 54-74. Memorias GEOMIN'2003, La Habana, 24-28 de Marzo.
- McGuire, R. K., 1993. Computations of seismic hazard. Annali di Geofísica, vol XXXVI, No 3-4, pp 181-200.
- Nagy, E. et al., 1976. Informe de los trabajos de levantamiento geológico para el mapa en escala 1: 250 000 del territorio de la antigua provincia de Oriente. Instituto de Geología y Paleontología, ACC.
- Noas, J. L., 2002. Algunos aspectos sobre el origen de la serie de sísmica de Moa del 28/12/98. XIV Forum de Ciencia y Técnica del CENAI. Fondos del CENAI.
- Orbera, L., 1989. Neotectónica. Escala 1 : 2 000 000. En: Nuevo Atlas Nacional de Cuba, Mapa 8, Sección Constitución Geológica, pág. III.2.4.



- Orbera, L., B. Babaev, 1988. Investigaciones sismotectónicas para la selección del lugar de construcción de la Central Electronuclear del Norte de Oriente. Cuba. Informe Técnico. Fondos del CENAI. 180 p.
- Pico, R., T. J. Chuy, 1990. Macro. Sistema para el procesamiento de datos macrosísmicos en la región del Caribe. Memorias de Informática 90'. La Habana, pp. 196-203.
- Rodríguez, A., 1998. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Rodríguez, M.; J. L. Alvarez, J. García, 1996. Estimaciones probabilísticas de la peligrosidad sísmica en Cuba. Revista Geofísica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia.



## INTERRELACION DE LOS ESTUDIOS GEOLOGICOS CON LA APLICACIÓN DE LOS MICROSISMOS.

**MSc. Zulima Caridad Rivera Alvarez**

*Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), Calle 17 No. 61, e/ 4 y 6 Reparto Vista Alegre, Santiago de Cuba. CP. 90400. e-mail: [zuli@cenaig.ciges.inf.cu](mailto:zuli@cenaig.ciges.inf.cu).*

### RESUMEN

Los microsismos son movimientos sísmicos del suelo, generados por fuentes naturales. Estas vibraciones u oscilaciones del suelo han sido estudiadas y analizadas desde hace varios siglos con el objeto de conocer la estructura de la corteza terrestre y predecir el comportamiento y los efectos de movimientos sísmicos fuertes, entre muchas otras aplicaciones. Los mapas de Microzonación sísmica se pueden obtener a partir de la aplicación de un conjunto de métodos como son: las analogías ingeniero geológicas y las mediciones instrumentales.

Para la aplicación de estos métodos es fundamental el conocimiento detallado de las condiciones geológicas del suelo en el área estudiada, para esto se deben hacer estudios preliminares de recopilación de datos, trabajos de campo, clasificación de los suelos teniendo en cuenta sus características litológicas, niveles freáticos, potencia de los estratos y propiedades físico-mecánicas y una red densa de mediciones instrumentales, para analizar el comportamiento en amplitud frecuencia del suelo y conocer los efectos de los sismos en las estructuras dadas las condiciones locales.

El resultado final de la aplicación del método de las analogías ingeniero geológicas son los mapas de zonación sísmica con la variación de intensidad a esperar en caso de un terremoto de gran intensidad y a partir de las mediciones instrumentales se obtienen los mapas de variación de amplitud y frecuencia para cada punto en el área estudiada y los espectros de respuesta del suelo, para determinar la respuesta dinámica de los suelos.

### ABSTRACT

The microseismics are seismic movements of the ground generated by natural fountains. These vibrations or oscillations of the ground have been studied and analyzed from several centuries ago with the purpose of knowing the structure of the earth crust and predict the behavior and the effects of seismic strong motions, between many other applications. The maps of seismic microzonation could be obtained from the application of a group of methods such as: the geological-engineer analogies and the instrumental measurements.

For the application of these methods is fundamental the detailed knowledge of the geologic soil conditions in the studied area. For this should be make preliminary studies of data recompilation, field works, classification of the ground keeping in mind their characteristics litology, water proof levels, thickness of the soil stratum and physics-mechanic properties and a dense net of instrumentals measurements, in order to analyze the behavior in amplitude frequency of the ground and to know the seismic effects of the given structures for the local conditions.

The final result of the application of the method geologic engineer is the maps of seismic zonation with the variation of expected intensity in case of an earthquake of great intensity and from the instrumental measurements, the maps of variation of amplitude and frequency for each point in the studied area and the response spectrums of the soil, in order to determine the dynamic response of the soil.

### MICROZONACIÓN SÍSMICA A PARTIR DE LAS ANALOGÍAS INGENIERO-GEOLÓGICAS.

El método de las analogías ingeniero-geológicas es la aplicación de un conjunto de métodos que permite clasificar los suelos y caracterizar la respuesta sísmica del suelo, delimitando las



zonas donde se van a producir incrementos o decrementos de la intensidad sísmica como consecuencia de la respuesta dinámica del suelo ante la ocurrencia de un sismo.

Para la realización de estudios de microzonación sísmica lo primero que debe hacerse es seleccionar el área de trabajo y las coordenadas de la misma, a partir de esto se comienza la recopilación de informes y trabajos ingeniero-geológicos realizados por las distintas empresas con el objetivo de obtener toda la información referente a las características del tipo de suelo y sus propiedades, además es necesario obtener los datos referentes al nivel freático y/o estático de las aguas subterráneas en la región. Luego se trazan los perfiles geológicos para correlacionar los cortes litológicos y establecer los contactos.

Con todas las descripciones de los suelos que aparecen en los informes y trabajos de campo se hace una generalización agrupándolos por su similitud en cuanto a características y propiedades físico-mecánicas a modo de seleccionar los suelos predominantes y el punto patrón, de igual forma se confeccionan las calas representativas para cada lugar muy importante para categorizar los suelos.

### **Suelo y punto patrón.**

El suelo patrón, según Medvedev (1973) se define como aquel litotipo con las características promedios de los terrenos que se estudian en el área, valorando su potencia, las propiedades físico-mecánicas, la profundidad de las aguas freáticas y las características litológicas de los suelos presentes en el área de estudio. Para esta selección se escojen generalmente los suelos de tipo S<sub>2</sub>, ya que tienen una respuesta dinámica promedio y por esta razón se le asigna el grado base regional de la zona, determinado por los estudios de peligrosidad sísmica.

La determinación del punto patrón es muy importante al realizar las mediciones instrumentales en las investigaciones, para lo cual la respuesta del paquete de estratos es la media de los existentes a partir de criterios ingeniero-geológicos.

### **Analogías Ingeniero - Geológicas.**

Para la confección del esquema de analogías ingeniero-geológicas se evaluaron de forma compleja las diferentes categorías de los suelos presentes en el área teniendo en cuenta las siguientes características:

- Distribución de los tipos litológicos, en particular la potencia, características de los suelos friables y la profundidad de yacencia de la roca base presente en cada caso, poniendo especial interés en el tipo de suelo, nivel freático y propiedades físico-mecánicas.
- Análisis de las particularidades morfológicas presentes en el área de estudio que pudieran incidir en un potencial incremento del grado de intensidad sísmica tales como pendientes abruptas, contrastes significativos de alturas, cañadas, etc.

Se categorizan los suelos a partir de tres métodos fundamentales:

**1- Método de Categorías** (Medvedev, 1973); se utiliza la tabla de clasificación en categorías de suelos por sus propiedades sísmicas. Esta clasificación se hace analizando cada estrato independiente y la cala completa. Es de gran importancia tener en cuenta el tipo de suelo, la profundidad del nivel freático y las propiedades físico-mecánicas. Determinando de esta forma las diferentes zonas de variación de intensidad. Las categorías en que son clasificados los suelos son:





**Categoría I:** Se pueden producir decrementos en el valor de la intensidad Sísmica,  $DI = -1$ .

**Categoría II:** No se producen variaciones en el valor de la intensidad Sísmica,  $DI = 0$ .

**Categoría III:** Se pueden producir incrementos en el valor de la intensidad sísmica,  $DI = +1$ .

**2- Método de clasificación de perfiles geológicos típicos** (Popov, 1959),  $DI$  con respecto al granito: Se analiza la cala representativa comparándola con los perfiles, seleccionando de esta forma la mas semejante y estableciendo el tipo de corte correspondiente para cada punto. A partir del comportamiento de los suelos estudiados y su clasificación según los perfiles típicos se establecen las posibles variaciones de la intensidad sísmica en el área estudiada, para esto se tiene en cuenta la litología o corte presente, potencia de los estratos y nivel freático.

**3- Variación de intensidad ( $DI$ ) a partir de la ubicación de los complejos acuíferos:** Se analizan todos los complejos acuíferos presentes en el área, particularizando en la variación espacial de la profundidad del manto freático. Para estudiar la influencia de las aguas subterráneas en las variaciones de la intensidad sísmica (Medvedev, 1973), se utilizó la siguiente relación exponencial:

$$DI = a e^{-0.04 h^2}$$

Donde;  $a = 1$  para suelos firables arcillosos y areno arcillosos.

$a = 0.5$  para semirrocas alteradas.

$a = 0$  para rocas y semirrocas poco alteradas.

$h$  profundidad del manto freático con respecto a la superficie, en metros.

Como resultado final de la aplicación de este conjunto de métodos de clasificación de los suelos se obtienen los esquemas de microzonación sísmica de las diferentes zonas investigadas, un ejemplo de esto se muestra en la Figura 1.

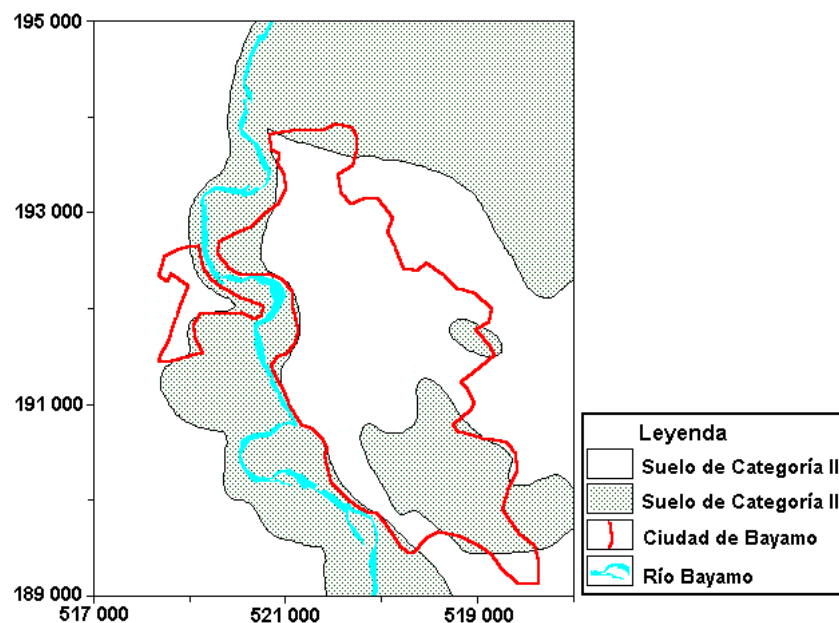


Figura 1: Esquema de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Bayamo por el Método de Analogías Ingeniero - Geológicas. (Rivera, 2000).

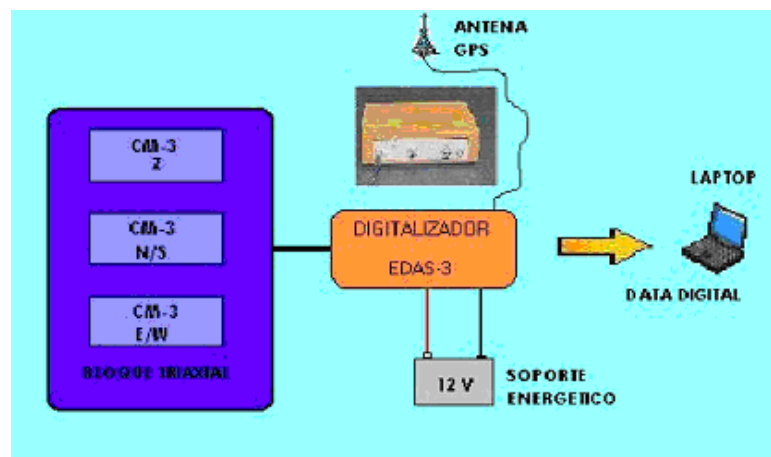


## MÉTODO DE MICROSISMOS.

Este método permite determinar a partir de la medición instrumental de ruidos naturales y/o fuentes de ruido de baja frecuencia los parámetros de amplitud y frecuencia, así como la caracterización espectral de los suelos. Con las mediciones instrumentales de microsismos se cubren las áreas sin información geológica y a su vez permite corroborar los resultados obtenidos por el método de analogías ingeniero-geológicas.

Se establece una red densa de mediciones de 8 a 10 puntos por km<sup>2</sup> siempre que sea posible, estos puntos se seleccionan de acuerdo a la escala de trabajo e intereses en lugares determinados que permitieran dar un mejor resultado del comportamiento del suelo. A cada punto se les determinan las coordenadas. Las mediciones son realizadas en la red establecida para el área investigada en los horarios de menor ruido externo (carros, personas, fábricas en funcionamiento, etc.) y en el punto patron por espacio de 24 horas aproximadamente.

Para la medición de los períodos de oscilaciones de suelo (Guasch, et al., 2002) se usa un set triaxial de mediciones (dos componentes horizontales y una vertical) acoplado a un sistema de adquisición de datos como muestra el diagrama de la Figura 2.



**Figura 2: Diagrama de bloques del equipamiento instrumental utilizado para la realización de las mediciones de microsismos.**

Los puntos medidos son analizados y procesados utilizando diversos programas compatibles a los sistemas instrumentales empleados. Se analizan las tres componentes para cada punto determinando de esta forma la amplitud y frecuencia y/o período de los espectros de respuesta del suelo, de igual forma se determina el valor de amplificación del suelo para cada punto.

Ejemplo de estos resultados los podemos ver en la Figura 3<sub>a,b,c,d</sub>.

El resultado final del análisis de los espectros de respuesta son mapas o esquemas de zonaciones con las variaciones de la intensidad dependiendo de los valores de amplitud y frecuencias predominantes. Ver ejemplos en las Figuras 4 y 5.

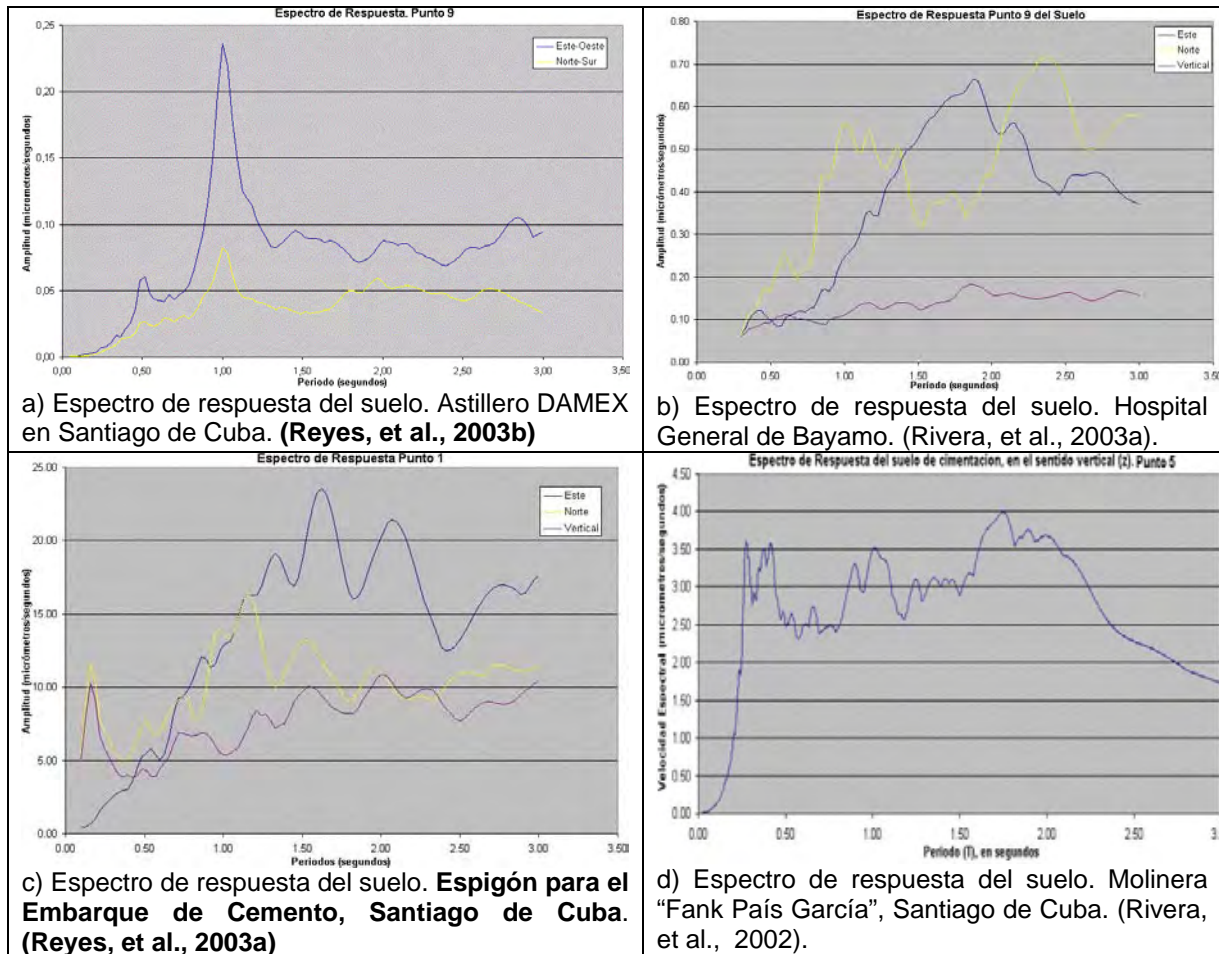


Figura 3<sub>a,b,c,d</sub>: Espectros de respuesta del suelo.

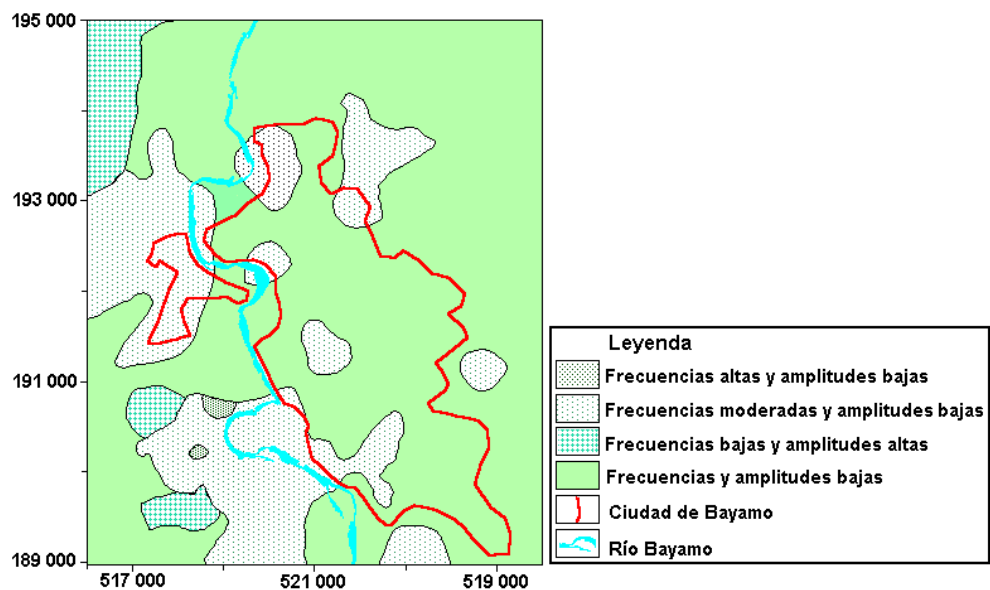


Figura 4: Mapa de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Bayamo (Rivera, 2000).

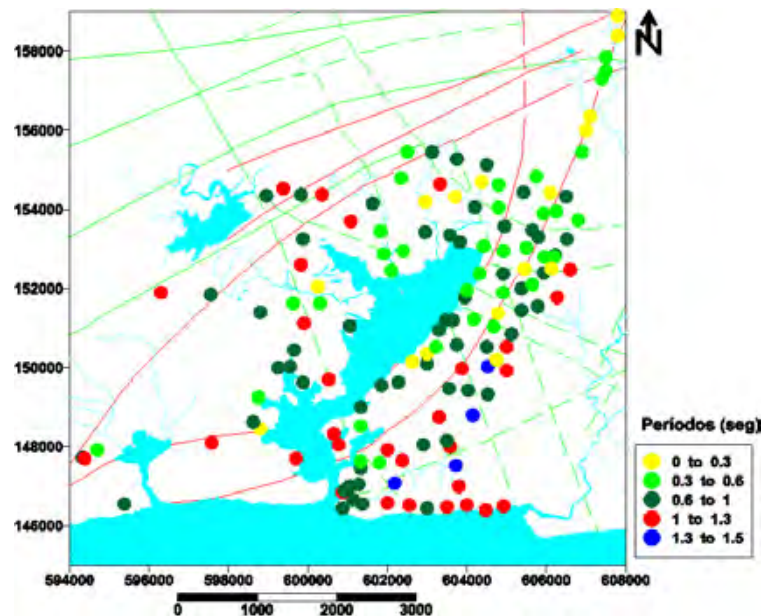


Figura 5: Esquema de períodos máximos de los suelos, Santiago de Cuba, Componente Este-Oeste. Rivera, et al., (2003b).

## CONCLUSIONES.

Para la correcta aplicación del método de microsismos es muy importante obtener todos los datos geológicos e ingeniero-geológicos del área investigada.

## BIBLIOGRAFÍAS.

- Guasch, F., Arango, E, Zapata, J.A., Díez, E., et al 2002: Pílon: Tierra que tiembla. Preparación para emergencias sísmicas en la municipalidad de Pílon. Monografía Médicos del Mundo - España. ISBN 959-02-0354-X.
- Medvedev, S.V (1973): Recomendaciones para la Microregionalización Sísmica RSM-73, Serie "Cuestiones de Ingeniería Sísmica" Vol 15, Moscú.
- Popov, V.V. (1959): Criterios Ingeniero-Geológicos de la Regionalización Sísmica Detallada (en ruso). Trabajo IFZ, No 5 (172).
- Reyes, C.R., Despaigne, G., Rivera, Z.C., Díez, E., 2003a: Peligro Sísmico del sitio de ubicación del Espigón para el Embarque de Cemento. Reporte de Investigación. Fondos del CENAI. 33 pp.
- Reyes, C.R., Rivera, Z.C., Despaigne, G., Díez, E., 2003b: Peligro Sísmico del sitio de ubicación de la nave para la construcción de embarcaciones navales de casco de aluminio. Reporte de Investigación. Fondos del CENAI. 34 pp.
- Rivera, Z.C. (2000): Microzonación Sísmica de la ciudad de Bayamo M.N. En: Red de Estaciones e Investigaciones Sismológicas en Cuba. Editorial Academia. La Habana. Cuba. ISBN 959-02-0244-6, pp 61 – 66.
- Rivera, Z.C., Oliva, R., Díez, E., Chuy T.J., 2002: Evaluación del peligro sísmico y geológico en el área de la Molinera Fank País García de Santiago de Cuba. Determinación de la respuesta dinámica la Planta Beneficiadora de Soya y el suelo de cimentación. Reporte de Investigación. Fondos del CENAI. 27 pp.
- Rivera, Z.C., Avich, B., Díez, E., Soberats, J., Hernández, E., 2003a: Peligro y vulnerabilidad sísmica del Hospital Materno Infantil de Bayamo. Reporte de Investigación. Fondos del CENAI. 48 pp.
- Rivera, Z.C., Zapata, J.A., García, J.A. y Morejón, G., 2003b: Potencialidad de Peligros Naturales y Riesgos Inducidos en los alrededores de la bahía de Santiago de Cuba (Salida final). Reporte de Investigación. Fondos del CENAI. 54 pp.

## **SISTEMAS AUTOMATIZADOS EMPLEADOS PARA LA EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA VULNERABILIDAD A LOS DESASTRES DE ORIGEN SÍSMICO EN CUBA.**

**Ing. Ricardo Oliva Álvarez .**

**Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS)**  
**oliva@cenais.ciges.inf.cu**

### **RESUMEN**

La metodología integral para la evaluación y reducción de la vulnerabilidad a los desastres de origen sísmico desarrollada por el CENAIIS (Oliva, et al, 2004) contempla 9 etapas o pasos los cuales son:

1. Ubicación y caracterización general del área y/o de los elementos objeto de estudio
2. Caracterización e influencia de las condiciones ingeniero geológicas en la variación del peligro sísmico y evaluación de la posibilidad de ocurrencia de fenómenos inducidos por la sacudidas sísmicas (agrietamiento y fallas, deslizamiento, licuefacción, asentamientos).
3. Evaluación del peligro sísmico del sitio o área objeto de estudio, en términos de aceleración, velocidad o desplazamiento del terreno, o sus valores espectrales o de la intensidad sísmica para diferentes probabilidades y periodo de vida útil de la edificación o los registros de diseño sísmico, reales o sintéticos.
4. Clasificación de las construcciones y evaluación de su estado técnico constructivo (levantamiento e inventario) y realización de encuestas a las personas que la utilizan.
5. Determinación experimental o por otros métodos, de las características dinámicas (Periodo y Amortiguación) y de las propiedades físico - mecánicas de los materiales de la edificación y de los suelos
6. Evaluación de la vulnerabilidad estructural, no estructural y funcional, aplicando los métodos correspondientes al nivel de estudio deseado.
7. Estimación de los niveles de daños y las pérdidas (Riesgo).
8. Medidas para la reducción de la vulnerabilidad y/o realizar el Proyecto de intervención para la reducción de la vulnerabilidad).
9. Confección del informe

En cada uno de estos pasos de la metodología se utilizan diferentes sistemas y programas de cálculo, los cuáles permiten la rapidez y exactitud de los resultados. En este trabajo se explica el uso de los mismos (forma de entrada de los datos, el algoritmo de procesamiento, y la salida). Como resultado de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica se obtienen los mapas de vulnerabilidad de las edificaciones destinadas a viviendas de la ciudad de Santiago de Cuba empleando un Sistema de Información Geográfica. Como ejemplo de cálculo se realizó la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones escolares y de la salud en la provincia Santiago de Cuba, dándose además un conjunto de medidas estructurales, no estructurales, funcionales, y las normas de conductas a seguir por la población durante la ocurrencia de desastres.

### **ABSTRACT**

The integral methodology for the evaluation and reduction of disasters, vulnerability of seismic origin developed by the CENAIIS contain 9 steps which are the following:

1. General location and characterization of the area or the elements which will be studied.
2. Characterization and influence of the engineering-geological conditions in the variation of the seismic hazard and evaluation of the possibility for earthquake induced phenomena, such as cracks, faults, landslides, settlements and liquefaction)
3. Evaluation of the seismic hazard of the place or area to be studied, in terms of soil acceleration, velocity or displacements, as well as the spectral and seismic intensity



values for different probabilities and useful life period of the building, or both, the real or synthetic seismic design records.

4. Classification of the buildings and evaluation of its technical constructive condition (making an inventory) and (questionnaires to the inhabitants).
5. Experimental determination or by another means of the dynamics characteristics (period and damping) to the physical mechanical properties of the building materials and the soil.
6. Evaluation of the structural, non structural and functional vulnerability of the buildings, applying the correspondent methods to the wished level of studied.
7. Estimation of the level of damages and losses (risk)
8. Measurements to the vulnerability reduction and/or intervention project for vulnerability reduction.
9. Elaboration of the final report.

In each step of the methodology the computer programs used as well as the function of them is explained ( data entrance, processing algorithms, and output data). As a result of the evaluation of the seismic vulnerability of the studied area, the vulnerability maps of the buildings used as family houses in Santiago de Cuba city, using an Geographic Informational System, were obtained. Furthermore, the evaluation of the seismic vulnerability of schools and health care installations located in the south east region of Cuba was done, and a group of structural, non structural and functional measurements, as well as several advices of the behaviour that must follow the people during earthquake occurrence.

## INTRODUCCION

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones es una tarea compleja debido a los diferentes factores que intervienen en la misma y la incertidumbre en la determinación de los parámetros fundamentales de cada uno de los factores de que depende la misma. Es por ello que la utilización de sistemas y programas automatizados constituyen una herramienta de primer orden para la ejecución de las diferentes tareas científico-técnicas que son necesario acometer, para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las construcciones para un sismo de determinado tamaño, con lo cual se garantiza un menor tiempo en la ejecución de los trabajos de procesamiento y análisis de los datos. Se garantiza además la confiabilidad y la calidad de los resultados científicos y una adecuada presentación de los mismo mediante tablas, gráficos y mapas.

En el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), desde la década del 80 se han realizado estudios de vulnerabilidad sísmica y se ha desarrollado y perfeccionado una metodología integral para la evaluación y reducción de la vulnerabilidad a los desastres de origen sísmico, la cual contempla 9 etapas o pasos( Oliva, et al, 2004).

En cada uno de estos pasos de la metodología se presentan los programas utilizados y se explica el manejo de los mismos (forma de entrada de los datos y la salida de los resultados), la mayoría de los programas utilizados han sido desarrollados por el CENAIIS y los otros han sido tomados de paquetes de programas profesionales o donados por otras instituciones, tales como: Microsoft Office Excel 2003, Programa de Cálculo de Estructuras SAP-2000, etc.

## DESARROLLO

En este trabajo se exponen algunos resultados de la aplicación de estos programas usados en la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones destinadas a viviendas de la ciudad de Santiago de Cuba, tales como: edificaciones escolares, edificaciones destinadas a la salud, y torres de comunicaciones ubicadas en la región sur oriental de Cuba ( Oliva, et al, 2004, Salida 3). Como resultado final se proponen un conjunto de medidas estructurales, no estructurales, funcionales, administrativas y las normas de conductas a seguir por la población que aplicadas oportuna y eficazmente reducirán la vulnerabilidad y el riesgo sísmico en la República de Cuba. Los pasos que contempla la metodología y los programas utilizados en cada uno de ellos se describen a



continuación, señalando el nombre del programa, su procedencia y los datos de ENTRADA que se le suministran y la SALIDA de los mismos.

**PASO 1:** Ubicación y caracterización general del área y/o de los elementos objeto de estudio. La tarea fundamental de este paso es determinar las coordenadas del sitio.

Los programas que se emplean en este paso son los siguientes: COVCOORDENADAS, y programa TRANSFER.GPS (GEOCUBA, 1995)

**COVCOORDENADAS.** (Geocuba) y **TRANSFER.** (Canadiense). La entrada y salida de estos dos programas es :

**ENTRADA:** Zona de ubicación de la instalación a analizar (Cuba Norte o Cuba Sur) y coordenadas a transformar (Planas o de Lambert)

**SALIDA:** Coordenadas deseadas

**GPS()** **ENTRADA:** El equipo se auto-sincroniza con la señal de los satélites que se encuentran en el área de visibilidad del lugar en que nos encontramos, por lo que no es necesario programarlo. Si se le da el hemisferio en que nos encontramos la operación se hace más rápida. Permite hacer mediciones repetitivas para aumentar la precisión.

**SALIDA:** Coordenadas Geográficas del punto en que nos encontramos (Latitud Norte, Longitud Oeste, Altitud y el Tiempo).



Figura 1 Politécnico "Jesús Menéndez": Geográficas Lat. N 20.34 y Long W 77.12. Las coordenadas del lugar de ubicación se determinaron utilizando el GPS. (Tomado de Oliva, et al , 2004)

**PASO 2:** Estimación del Peligro Sísmico.

Programas empleados: SACUDIDA, EXCEL, ACSIN, GENERA, DEGTRA

**SACUDIDA** (Álvarez, L. 1992). **ENTRADA:** Coordenadas, probabilidad y periodo de vida útil **SALIDA:** Aceleración (%g ), Intensidad (Escala MSK), Desplazamiento (cm) y Velocidad (cm/s).

**EXCEL**(Microsoft Windows 2000): **ENTRADA:** Valores de los parámetros Intensidad y Aceleración, obtenidos del programa SACUDIDA.

**SALIDA:** Permite obtener diferentes gráficos a partir de los datos obtenidos del programa SACUDIDA tales como: gráficos de acelerogramas sintéticos y espectro de diseño.

Tabla I. Ejemplo de valores de peligro sísmico obtenidos utilizando el Programa SACUDIDA para la ciudad de Santiago de Cuba. (Tomado de Oliva, et al , 2004)

Coordenadas		I (MSK)	Ah (cm/s <sup>2</sup> )	Av (cm/s <sup>2</sup> )	Vh (cm/s)	Vv (cm/s)	Dv (cm)
X	y						
598500	146500	8.5	368.8	235.9	31.4	195.5	8.2
598500	147500	8.5	368.8	235.9	31.4	195.5	8.2

**ACSIN** (CENAI): **ENTRADA:** Distancia al sitio, Magnitud y Tipo de Suelo.

**SALIDA** Genera el acelerograma sintético y sus espectros.

**DEGTRA.** (Universidad Nacional Autónoma de México). **ENTRADA:** Valores de la amplitud de las aceleraciones de terremotos débiles, Periodo de muestreo y peligro sísmico puntual del sitio. **SALIDA:** Genera el acelerograma sintético del sitio escalado al peligro puntual.

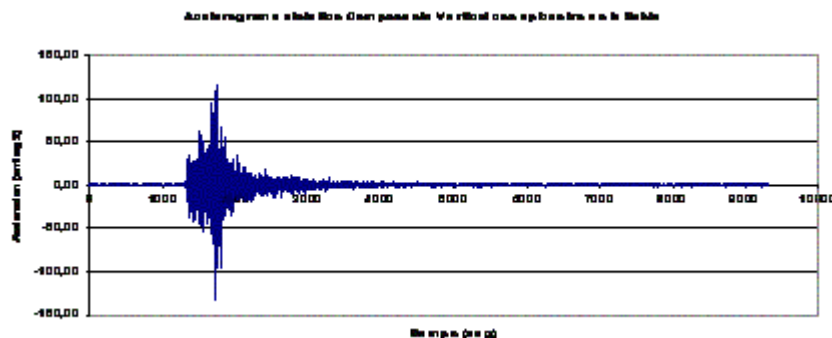


Figura 2 Ejemplo de Acelerograma sintético del sitio escalado al peligro puntual obtenido como salida del programa DEGTRA (Tomado de Oliva, et al , 2004)

**PASO 3.** Evaluación de las condiciones Ingeniero Geológicas.  
Programas empleados: **EDUSHAKE, ESPECTRO**

**EDUSHAKE** ([www/proshake.com](http://www/proshake.com)) ENTRADA: Propiedades de los suelos, velocidad de la onda de corte, amortiguamiento) y espesor de los estratos del perfil Geológico.  
Acelerograma.

SALIDA: Acelerograma en la superficie y sus espectros.

**ESPECTRO** (CENAI). ENTRADA: Amortiguamiento, Tipo de suelo, Periodo de esquina  
SALIDA: Valores espectrales y espectro de diseño sísmico

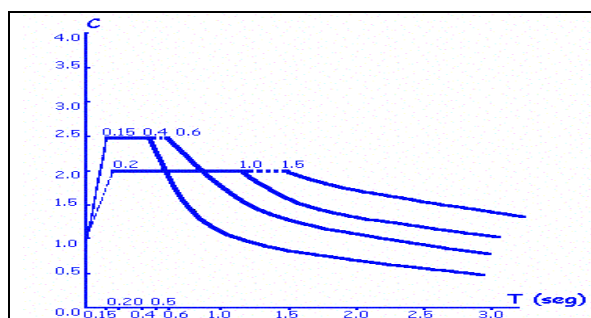


Figura 3 Ejemplo de Espectro Sísmico de diseño obtenido a partir del programa ESPECTRO

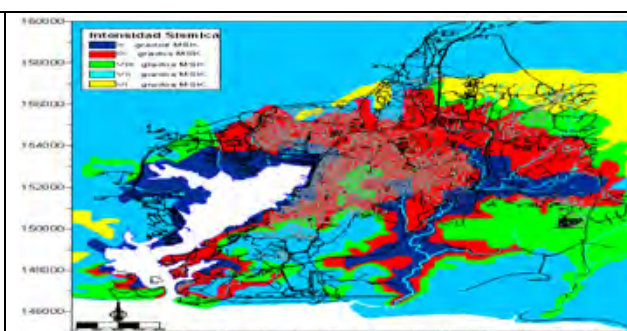


Figura 4 Ejemplo de Mapas de variación de la intensidad sísmica según el tipo de suelo **obtenido a partir del programa ESPECTRO**

**PASO 4:** Características de las Construcciones Objeto de Estudio.

Programas empleados **FOXPRO, EXCEL, AUTOCAD-2000, EDITORES GRAFICOS** (Microsoft Windows, 2000).

**FOXPRO, EXCEL.**

**ENTRADA:** Tipología de las edificaciones

**SALIDA:** Tablas de Valores y Gráficos

**AUTOCAD-2000.**

**ENTRADA:** Características Geométricas del Edificio

**SALIDA:** Tablas de Valores y Gráficos

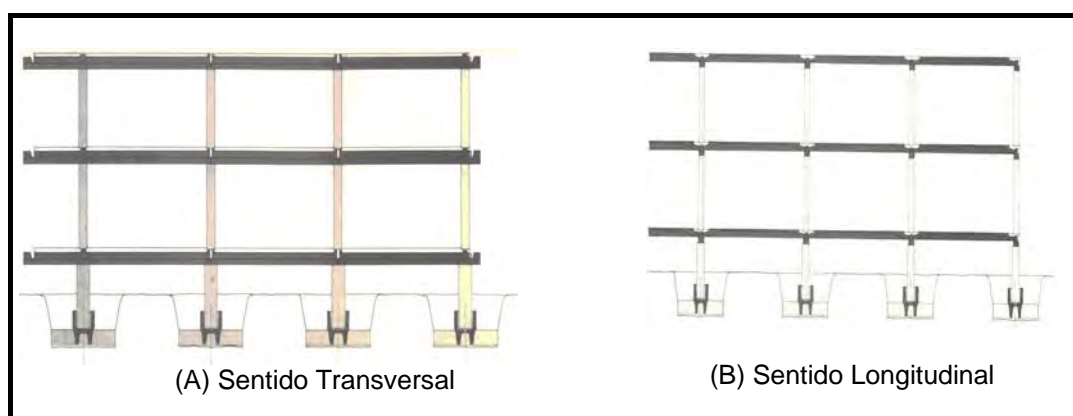


Figura 5. Ejemplo de Esquema estructural del Sistema Constructivo Girón obtenido como resultado del programa SAP-2000. (Tomado de Microsoft Windows, 2000).

### SIG(MAPINFO).

**ENTRADA:** Ficheros con extensión dxf.

**SALIDA:** Mapas.

**EDITORES GRAFICOS.** Accesorios del Windows (Saint Brush, Foto-editor, etc.)

**ENTRADA:** Figura a modificar.

**SALIDA:** Figura modificada

Tabla II Clasificación de las viviendas de las provincias Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo según la escala MSK y su estado técnico

Provincia	Tipo A			Tipo B		
	B	R	M	B	R	M
Granma	16591	28353	30862	41652	28217	13640
S. de Cuba	23989	19126	52720	43428	22529	18031
Guantánamo	-	-	21554	37475	26772	8671

**PASO 5:** Determinación Experimental de las propiedades Dinámicas del suelo y las estructuras:

Los programas que se emplean en este paso son los siguientes: **EDAS\_3**, **ETOP DEGTRA**, **SISMOLAB**.

**EDAS\_3** Chino. **ENTRADA:** Curva de calibración, frecuencia de muestreo

**SALIDA:** Tablas de Valores y Gráficos de los registros.

**ETOP** Chino. **ENTRADA:** Registros del EDAS-3 en extensión evt.

**SALIDA:** Registros en la tres componentes (Horizontal: Norte – Sur, Horizontal: Este-Oeste y Vertical: Z).

**DEGTRA 2000** (Ordaz M., et al, 2000). Programa para la obtención del espectro de Fourier y de Respuesta a partir de las señales y su valor máximo.

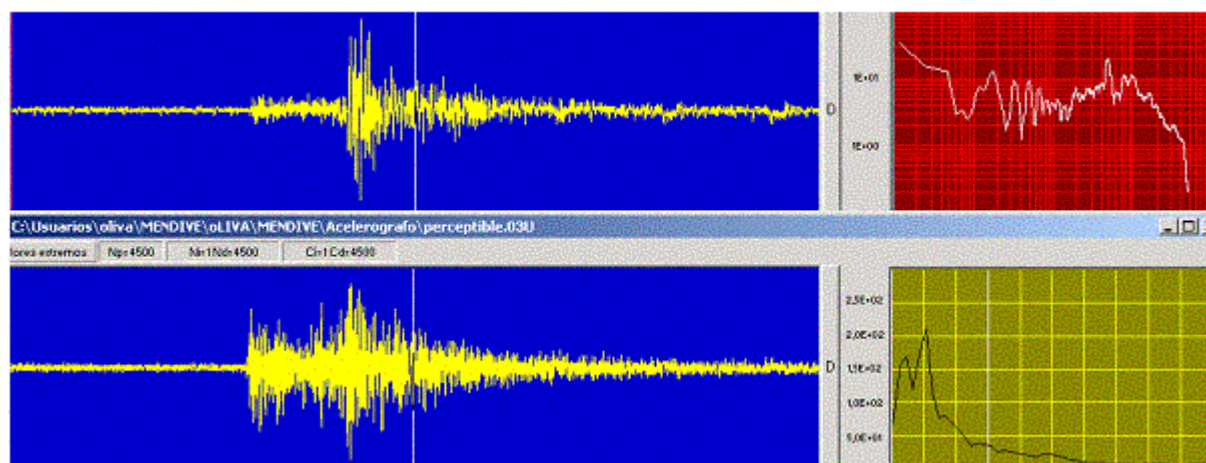


Figura 6. Ejemplo de registros de señal y acelerogramas calculados utilizando el programa DEGTRA (Tomado de Ordaz M, et al (2000).

### PASO 6: Evaluación de la Vulnerabilidad según el nivel de estudio Deseado

Programas empleados: **VULMSK**, **VULITALO**, **VULJAPON**, **INDAÑO**, **VULPERIODO**, **SAD 2000**, **IDAR**.

**VULMSK**. ENTRADA Intensidad sísmica y topologías constructivas

SALIDA: Grado de Daño y vulnerabilidad.

Tabla III. Estimación de daños en la ciudad de Santiago de Cuba.

Nivel de daño	Vulnerabilidad	Viviendas
Sin daños (SD)	No vulnerable	107285
Daños ligeros (DL)	Vulnerabilidad baja	65443
Daños moderados (DM)	Vulnerabilidad moderada	45029
Daños considerables (DC)	Vulnerabilidad alta	33644
Daños graves (DG)	Vulnerabilidad alta a muy alta	17155
Daños totales (DT)	Vulnerabilidad muy alta	5293

**VULITALO** ENTRADA: Valores de los coeficientes  $K_{in}$  y  $Oni$  .

SALIDA: Valores del Índice de Vulnerabilidad y de daño

**VULJAPON** ENTRADA: Nivel de Peligro (Alto, Medio y Bajo) y Modificaciones

SALIDA: Calcula el índice estructural básico ( $I_s$ ) la vulnerabilidad

**INDAÑO** ENTRADA: Para estructuras de Mampostería .Carga actuante sobre los muros, dimensiones de los muros ( $L_m$  y  $B_m$ ), parámetros para el cálculo de la fuerza sísmica

SALIDA: Índice de daños ( $D_n$ ) .asociado al tipo de vulnerabilidad

**VULPERIODO** ENTRADA: Periodo obtenido experimental

SALIDA: Índice de Vulnerabilidad ( $I_{vp}$ )



Tabla IV. Resultados obtenidos de la evaluación de la vulnerabilidad de las instalaciones seleccionadas en la provincia de Santiago de Cuba

No.	Instalación	MSK	Is	Iv	Vne	Ve
1	IPU Rafael Maria Mendive.	M-A	<1	235	Alta	Alta
2	Policlínico Municipal.	M-A	<1	175	Alta	Alta
3	Policlínico Frank País García	M-A	<1	180	Alta	Alta
4	Policlínico 28 de Septiembre	M-A	<1	193	Alta	Alta
5	Escuela de Instructores de Arte	M	>1	152	Alta	Moderada
6	Escuela Mariana Grajales.					
	<b>Casa Principal</b>	A-mA	<1	230	Alta	Alta
	<b>Albergue, comedor y cocina</b>	M	<1	160	Alta	Moderada a Alta
	<b>Aulas y Albergue</b>	mA	<1	250	Alta	Alta
7	Escuela Clodomira Acosta	M-A	<1	173	Alta	Alta
8	Julio Trigo López.	M-A	<1	181	Alta	Alta

Donde:

MSK-Vulnerabilidad MSK. Iv Índice de Vulnerabilidad Is- Índice de vulnerabilidad método Japonés.

B- Vulnerabilidad Baja, M vulnerabilidad Moderada, M-A Vulnerabilidad de moderada a Alta

Ve- Vulnerabilidad estructural.

Vne- Vulnerabilidad no estructural.

A-Vulnerabilidad Alta

mA - Vulnerabilidad muy Alta

**SAP 2000**( EU). ENTRADA. Características geométricas y dinámicas de la edificación, cargas y vínculos.

**SALIDAS:** Gráficos y tablas de las solicitaciones y de la edificación.

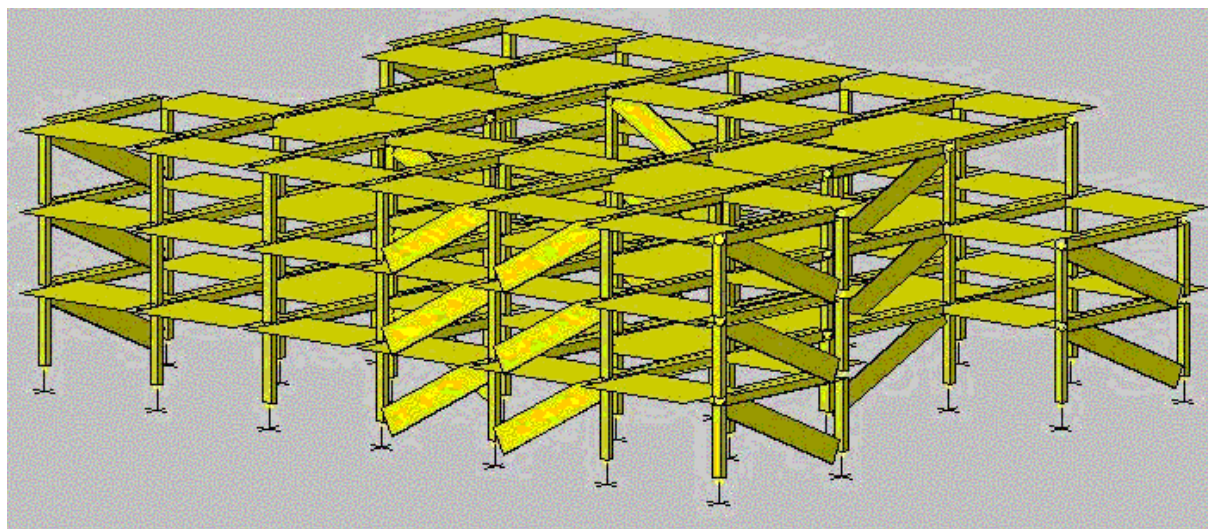


Figura 7. Modelo escogido del policlínico Municipal



Figura 8. Ventana donde se define el valor de amortiguamiento.

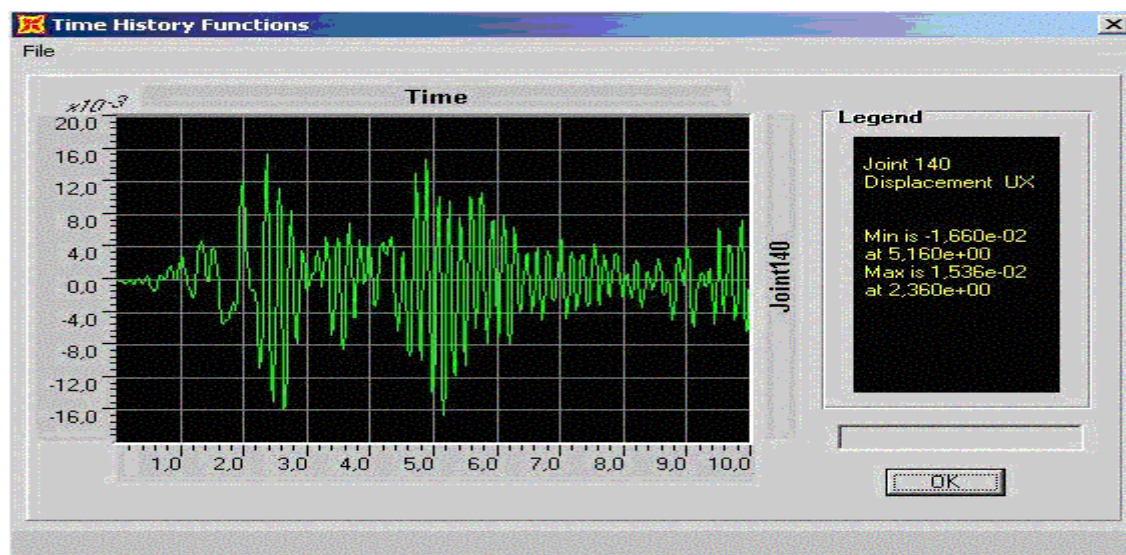


Figura 9. Trazo del desplazamiento de una junta contra el tiempo.

### PASO 7: Estimación de las pérdidas. riesgo

Programas empleados: **VULDAÑO, SIG Mapinfo**

**VULDAÑO ENTRADA:** Tipo constructivo A, B, C, I, II, III, IV. Estado Técnico B, R, M. Población, Peligro Sísmico

**SALIDA:** Estima los niveles de daños, cantidad de Viviendas con diferentes tipos de daños, Heridos y Muertos y personas que se quedan sin hogar.

Tabla V. Pérdidas estimadas en la población para las provincias de región Sur Oriental.

Zona	Poblacion	Muertos	Heridos	Sin Hogar
Granma	833204	2012	8234	15234
Santiago de Cuba	1046259	3840	19200	23040
Guantanamo	507287	3600	12000	15170



Tabla VI. Pérdidas estimadas en la población de la ciudad de Santiago de Cuba.

Distrito	Poblacion	Muertos	Heridos	Sin Hogar
José Martí	122598	193	965	7574
26 de Julio	60748	245	1225	2043
Antonio Maceo	112647	272	1360	8734
Abel Santamaría	95728	84	420	2463
Total	391721	794	3970	20813

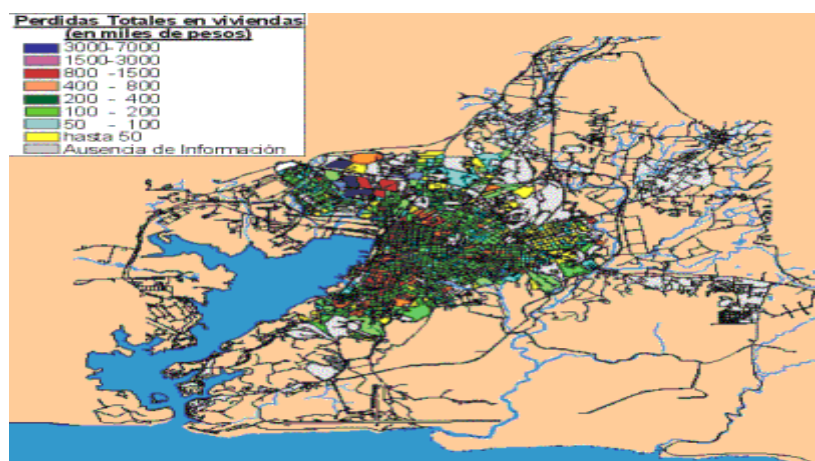


Figura 10. Mapa de riesgo sísmico de las viviendas de la ciudad de Santiago de Cuba.

### PASO 8: Medidas para la reducción de la vulnerabilidad .

Estas medidas se agrupan en :Planificación física, de Ingeniería, Arquitectura, Funcionales y Organizativas cada uno de estos grupos de medidas se pueden ver en la pagina Web del CENAIIS y en la salida 3 del proyecto reinvestigaciones de Ingeniería Sísmica para la reducción de la vulnerabilidad sísmica en la región sur oriental del Cuba.

### PASO 9: Elaboración del Informe

Programa: Sistema base Windows, Editor de Textos  
(Microsoft Word) del Office.  
Pagina Web del CENAIIS.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La utilización de estos programas posibilitan la reducción del tiempo de ejecución de los trabajos para la evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica y garantizan la calidad y confiabilidad de los mismos , se recomienda el perfeccionamiento de estos programas y su aplicación a futuros trabajos

## BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, L. 1992. SACUDIDA, versión 2: Un programa para la estimación de la peligrosidad sísmica. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones sismológicas (CENAIIS), ACC.
- Chuy, T. J. 1999. Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad Microzonación Sísmica, Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Geofísicas, Fondos del CENAIIS y del Instituto de Geofísica y Astronomía, 1999
- EDUSHAKE. [www/proshake.com](http://proshake.com). Programa para Cálculo de Espectros de diseño
- GEOCUBA ( 1995) Programa TRANSFER para la transformación de coordenadas. Fondos del CENAIIS.
- GPS (1998) Manual de GPS. Fondos de CENAIIS
- Microsoft Windows (1998). Paquetes de Programas del Norton Commander



- Microsoft Windows (2000). Programa de Cálculo de Estructuras SAP-2000, Procesador de texto Microsoft Office Word 2003, Microsoft Office Excel 2003.
- Oliva , R. y Laudiber R. 1999. Programa para la evaluación de los daños. Fondos del CENAIIS, <http://servidor/carmensubfinal.htm/>
- Oliva R, Martínez J 2003. Programa para estimar los daños en las edificaciones. Fondos del CENAIIS.
- Oliva et, al (2003) ESPECTRO. Programa para Cálculo de Espectros de diseño. Fondos de CENAIIS
- Oliva R., Márquez P.I., Morejón G. 2004 Perfeccionamiento de la metodología para la Evaluación de la vulnerabilidad sísmica y la obtención del periodo fundamental de vibración de las construcciones utilizando la vía experimental.(salida2) Reporte de Investigación. Fondos CENAIIS.
- Oliva R., Márquez P.I., Morejón G. 2004 Metodología integral para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones en Cuba Su aplicación en las construcciones seleccionadas.(salida3) Reporte de Investigación. Fondos CENAIIS.
- Ordaz M., et al (2000) Programa DEGTRA. UNAM.
- Rubio, M.F. (1991). Programa ACSIN V2.0, CENAIIS, CITMA.
- SAP2000 Non liner Version 7.12A Structural Analysis Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Sato, J.M., Kumagai, Y. 1996. Sistema de información geográfica para el plan de reconstrucción luego del terremoto de Hanshin-Awaji (Kobe).
- Scarlat, A. S. 1998. Approximate Methods in Structural Seismic Design. Routledge mot E F & N Spon; ISBN: 0419187502.
- Zapata, J.A. 1997. Aplicación de variante metodológica de Microzonificación Sísmica en la ciudad de Santiago de Cuba. Tesis de opción del grado de Doctor en Ciencias Geofísicas.



## **CALCULO DE PARÁMETROS DE FUENTE DE SISMOS DE MAGNITUDES PEQUEÑAS E INTERMEDIAS**

Anibal Ojeda (1), Franklin Rengifo (1)

(1) Instituto de Geología y Minería de Colombia – INGEOMINAS – Diagonal 53 # 34 – 53, Bogotá D.C.

El objetivo de este trabajo es implementar una metodología que permita estimar parámetros de fuente de sismos con magnitudes pequeñas e intermedias, con la instrumentación sismológica disponible hoy en día en la mayoría de los observatorios sismológicos. En la actualidad la mayor parte de las redes de vigilancia en países latino-americanos cuentan en su mayoría con estaciones de periodo corto, unas pocas estaciones de banda ancha y algunas estaciones acelerográficas. Ante estas condiciones de instrumentación no es posible calcular mecanismos focales basados en polaridades de primeros arribos, en especial para sismos pequeños e intermedios,  $M_w < 5.0$ , sin embargo, la metodología propuesta permite calcular los parámetros de la fuente a partir de la modelación de los espectros de amplitudes de desplazamiento para los registros de estaciones de ancha y acelerográficas disponibles. La modelación es realizada a bajas frecuencias ( $< 1.0$  Hz), inferiores a la frecuencia de esquina, simplificando la función de tiempo de fuente y también haciendo los cálculos más rápidos. La metodología permite estimar los cinco parámetros más importantes de la fuente: profundidad, magnitud  $M_w$ , rumbo, buzamiento y ángulo de estría; a través de dos procesos de búsqueda de grilla. En el primer proceso se estiman la profundidad y la magnitud a través de la modelación de los espectros de desplazamiento, para las combinaciones posibles de los cinco parámetros donde las variaciones de rumbo, buzamiento y ángulo de estría se hacen cada  $20^\circ$ . Para el segundo proceso se determinan el rumbo, buzamiento y ángulo de estría, usando combinaciones con variaciones cada  $10^\circ$ . La metodología ha sido probada para calcular parámetros de fuente de sismos cercanos ( $R < 60$  km,  $M_w > 3.0$ ) registrados en una sola estación y también en varias, demostrando ser útil y práctica. A pesar de lo anterior el método no se puede usar a frecuencias muy bajas, inferiores a 0.1 Hz, y los resultados obtenidos son sensibles al modelo de corteza.



## **PELIGRO GEOLOGICO DE LA RED VIAL DE LAS PROVINCIAS ORIENTALES PARA CASO DE SISMOS DE GRAN INTENSIDAD.**

**MSc. Carmen R. Reyes Pérez, Ing. Yamina Ríos Martínez, Ing. Nicolás Vega Garriga, MSc. Enrique Arango Arias.**

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Calle 17 No. 61, Reparto Vista Alegre, Santiago de Cuba, Cuba, CP 90400, E-mail: [carmen@cenais.ciges.inf.cu](mailto:carmen@cenais.ciges.inf.cu)

### **RESUMEN.**

Se presenta el comportamiento de los factores pasivos y activos que actúan en la estabilidad de los suelos y rocas. Además, se propone un esquema de zonación de acuerdo a la susceptibilidad de ocurrencia de deslizamientos o derrumbes en los taludes de las carreteras de las provincias orientales provocados por terremotos de gran o mediana intensidad, atendiendo a: relieve, constitución geológica y criterios del Manual de Zonación de Peligros Sísmico – Geotécnicos.

### **ABSTRACT.**

The behavior of the passive and active factors acting in the stability of soils and rocks is presented. A zonación outline according to the susceptibility of occurrence of slips or collapses in the banks of the highways of the oriental counties, caused by earthquakes of great or medium intensity, is proposed considering as follows : relief, geologic constitution and criteria from the Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards.

### **INTRODUCCION.**

El peligro que en ocasiones provocan los movimientos de los taludes naturales o artificiales de las carreteras para su construcción y posterior explotación, está determinado fundamentalmente por el tipo de movimiento y de la magnitud de éste. En la construcción de las obras viales se presentan una serie de dificultades que a veces encarecen su construcción; los gastos pueden ser mayores si no se elige correctamente el trazado sobre la base de las condiciones ingeniero-geológicas, lo que se acentúa si la morfología del terreno es abrupto y de gran complejidad tectónica, como es el caso de las zonas montañosas de la región oriental.

El movimiento de los taludes puede ser de origen natural o artificial. Dentro de los naturales se encuentran los inducidos por terremotos, por intensas lluvias y los que ocurren por influjo de la gravedad; los fallos artificiales son aquellos en los cuales el hombre es el principal agente disparador o catalizador. La inestabilidad de los taludes depende básicamente de 2 factores: acción de las fuerzas externas (gravitatorias y sísmicas) y la resistencia del material en movimiento, determinado por las condiciones geológicas y geotécnicas. En los estudios de zonación sísmica con estos fines se hace indispensable evaluar estos factores, por lo que se requiere de una información geológica y topográfica detallada del área, en la que se incluyen además, trabajos de campo en correspondencia con la escala de la investigación.

En los países en vías de desarrollo se toman soluciones que buscan disminuir los costos de construcción con el objetivo de hacer obras más racionales, pero no es menos cierto que esta racionalidad debe ser regulada, pues muchas vías terrestres proyectadas en cortes escarpados, resultan al final más costosas por los gastos de mantenimiento, que si se hubiesen proyectado



desde un principio valorando las implicaciones que tiene el peso real de la geología en el diseño de vías.

En este trabajo se exponen los pasos seguidos para determinar el peligro geológico por fenómenos físico - geológicos en la red vial de las provincias orientales, considerando como principal agente catalizador al sismo de mediana a gran intensidad. Este análisis realizado se basa en el comportamiento de los factores pasivos y activos que actúan en la estabilidad de los suelos y rocas, donde se obtiene como resultado una zonación que se corresponde con el Grado 1 de la Metodología propuesta por especialistas del CENAI (Reyes y otros, 2000) para la evaluación del Peligro geológico por fenómenos gravitacionales ante sismos de mediana o gran intensidad. Atendiendo a la escala de trabajo fueron utilizados además, el Mapa Topográfico 1:100 000, el Mapa Geológico 1:100 000 (Colectivo de Autores, 1976), el Mapa Geológico Digital de la Republica de Cuba, escala 1:100 000 (CASIG, 2000), el Mapa de Zonas Sismogeneradoras de Cuba Oriental a escala 1:500 000 (Chuy y otros, 1997) y datos climáticos.

## RESULTADOS.

### Zonación por criterios pasivos.

Primeramente se realizó una zonación de acuerdo con los criterios pasivos: el relieve, características geológicas y geotécnicas de las formaciones existentes en las provincias Granma, Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo (Jakus, 1983; Nagy, 1983; Pérez, 1983), obteniéndose diferentes categorías de susceptibilidad para la ocurrencia de los deslizamientos.

**Provincia de Granma:** Categoría A o favorable (Sierra Maestra Occidental). Caracterizada por grandes elevaciones que varían entre los 200 y 1000 metros sobre el nivel del mar llegando incluso hasta 1299 y 1753; pendientes abruptas donde los ángulos oscilan entre los 15 y los 55 grados y más. La geología y la tectónica son de complejidad significativa. Categoría C o poco favorable (Cuenca Cauto – Guanacayabo). Caracterizada por un relieve llano con algunas elevaciones que oscilan entre 60 y 200 metros hasta los 300 metros sobre el nivel del mar. Las pendientes con ángulos entre los 3 y 15 grados, aunque muy localmente pueden llegar a los 35 grados. La tectónica está caracterizada por movimientos descendentes y sin presencia de fallas significativas. La geología desde el punto de vista ingeniero-geológico tiene condiciones poco favorables para la estabilidad de los taludes.

**Provincia Holguín:** Categoría A o muy favorable (Nipe – Cristal – Sagua – Moa). Caracterizada por grandes elevaciones que varían entre los 200 y 1000 metros sobre el nivel del mar llegando incluso hasta 1231 metros; pendientes abruptas donde los ángulos oscilan entre los 15 y los 55 grados; y una complejidad geológica y tectónica significativas. Categoría B o favorable (Maniabón). Caracterizada por un relieve donde las elevaciones oscilan entre 60 y 200 metros llegando localmente hasta 300 metros sobre el nivel del mar, las pendientes con ángulos entre los 3 y 15 grados, aunque muy localmente pueden llegar a los 35 grados y una complejidad tectónica menor a la zona anterior. Categoría C o poco favorable (Cuenca Cauto – Nipe). Caracterizada por un relieve llano y una geología con formaciones con yacencia horizontal o casi horizontal y movimientos tectónicos descendentes, sin la presencia de fallas significativas.

**Provincia Santiago de Cuba:** Categoría A o favorable (Sierra Maestra Oriental). Caracterizada por grandes elevaciones que varían entre 200 y 1900 metros sobre el nivel del mar, pendientes abruptas con ángulos entre los 30 y 80 grados aproximadamente; composición geológica y tectónica muy compleja. Categoría C o poco favorable (Cuenca de Santiago de Cuba, Cuenca de San Luis y Cuenca del Cauto). Caracterizada por un relieve donde las elevaciones no alcanzan los



200 metros sobre el nivel del mar, las pendientes con ángulos que no sobrepasan los 30 grados; las condiciones geologo-tectónicas son poco complejas.

**Provincia Guantánamo:** Categoría A o muy favorable. Caracterizada por grandes elevaciones que varían entre los 200 y 1000 metros sobre el nivel del mar; pendientes abruptas donde los ángulos oscilan entre los 15 y los 55 grados y más y una complejidad geológica y tectónica significativa. Categoría B o favorable. Caracterizada por un relieve donde las elevaciones oscilan entre 60 y 200 metros llegando localmente hasta 300 metros sobre el nivel del mar, las pendientes con ángulos que oscilan entre los 3 y 15 grados, aunque muy localmente pueden llegar a los 35 grados y una complejidad tectónica menor a la zona anterior. Categoría C o poco favorable. Caracterizada por un relieve llano y una geología que se caracteriza por la presencia de formaciones geológicas con yacencia horizontal o casi horizontal y movimientos tectónicos descendentes, sin la presencia de fallas significativas.

### Zonación por criterios activos.

En el análisis de los criterios activos utilizamos el método de “**Criterio magnitud-distancia recomendado**”, propuesto por el TC-4 (1993); que es un resumen de todos los aspectos que tiene en cuenta el Grado 1 de estudio propuesto en esta metodología, donde además del sismo como agente catalizador de los deslizamientos, se incluye la influencia de las precipitaciones, considerada esta última el más importante agente catalizador de este fenómeno. (Figura 1).

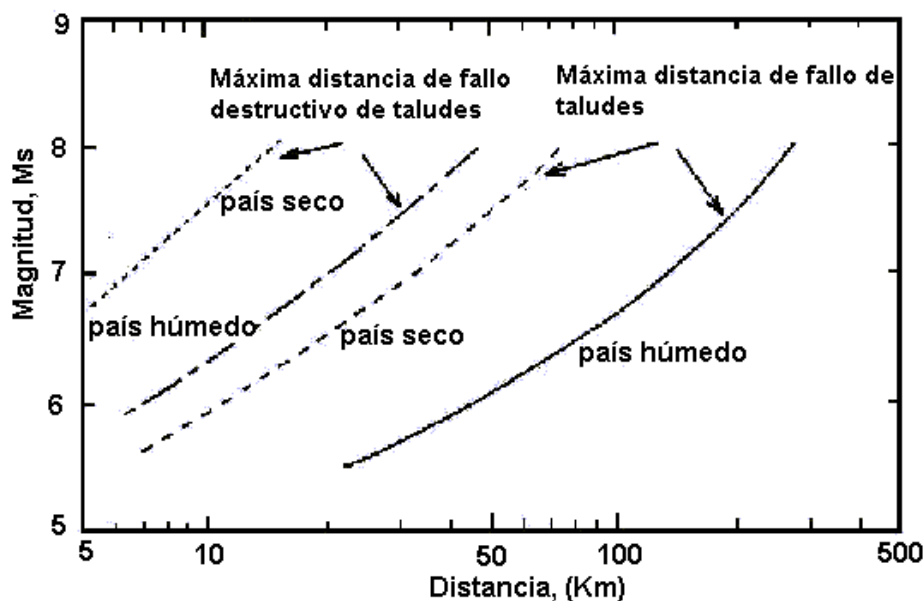


Figura 1: Curvas propuestas en el método Criterio magnitud-distancia recomendado (Tomado de TC-4, 1993).

Este método establece que la proporción del fallo de los taludes disminuye proporcionalmente con el aumento de la distancia de la fuente sísmica que se utiliza contempla además del sismo (magnitud) como agente disparador del deslizamiento a las lluvias.

Como resultado se obtienen dos zonas de fallo de los taludes o pendientes para las principales zonas de origen de terremotos seleccionada según Chuy y otros, 1997; estas son:

#### **Clase 1:** Máxima distancia epicentral de fallo destructivo de taludes.





**Clase 2:** Máxima distancia epicentral de fallo de taludes.

En las **tablas I, II, III y IV** se presentan estos resultados y en la **Figura 2** se muestra la ubicación de las zonas sismogeneradoras.

Tabla I: Máxima distancia de fallos de taludes según la magnitud máxima esperada (Richter) en las principales zonas sismogeneradoras que afectan la provincia Granma. (Reyes y Arango, 2000).

Zonas Sismogeneradoras	Magnitud Máxima (Richter)	Clase 1 (Km)	Clase 2 (Km)
Oriente 2 (Bartlett-Caiman)	7.6	32	210
Cauto - Nipe	7.0	20	150
Cauto Norte	6.5	13	90
Bayamo	6.5	13	90

Tabla II: Máxima distancia de fallos de taludes según la magnitud máxima esperada (Richter) en las principales zonas sismogeneradoras que afectan la provincia Holguín. (Reyes y otros, 1998).

Zonas Sismogeneradoras	Magnitud Máxima (Richter)	Clase 1 (Km)	Clase 2 (Km)
Sabana	7.0	13	84
Puriales	6.5	13	84
Cauto-Nipe	7.0		150

Tabla III. Máxima distancia de fallos de taludes según la magnitud máxima esperada (Richter) en las principales zonas sismogeneradoras que afectan la provincia Santiago de Cuba. (Arango y otros, 1997).

Zonas Sismogeneradoras	Magnitud Máxima (Richter)	Clase 1 (Km)	Clase 2 (Km)
Oriente (bartlett-Caimán)	>7.5	32	200

Tabla IV. Máxima distancia de fallos de taludes según la magnitud máxima esperada (Richter) en las principales zonas sismogeneradoras que afectan la provincia Guantánamo. (Fernández y Reyes, 2000).

Zonas Sismogeneradoras	Magnitud Máxima (Richter)	Clase 1 (Km)	Clase 2 (Km)
Sabana	7.0	20	148
Puriales	6.5	13	84
Oriente 3 (Bartlett-Caimán)	7.6	27	170

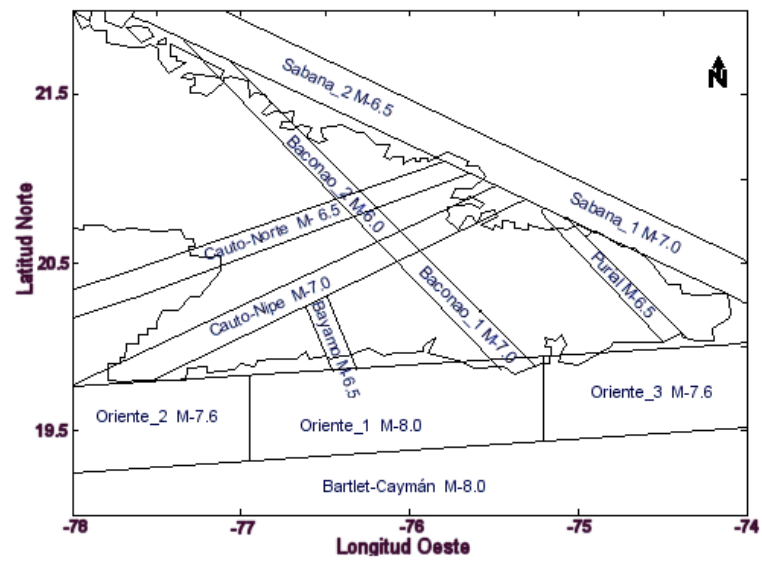


Figura 2: Esquema de Zonas Sismogeneradoras. Chuy y otros, 1997.



### Clasificación de la Susceptibilidad al deslizamiento en la región oriental.

Para la clasificación de los tramos susceptibles seguimos tres criterios: el pasivo, activo y el obtenido en los recorridos de campos efectuados. Este último nos permitió conocer el estado actual de las rocas que conforman los taludes, así como ser más precisos en la determinación de los tramos con peligros potenciales. La susceptibilidad en el territorio estudiado la clasificamos como alta, media y baja, de la forma siguiente:

- **Susceptibilidad alta:** Categoría A, Clase 1 y condiciones malas de estabilidad.
- **Susceptibilidad media:** Categoría A, Clase 1 y condiciones buenas de estabilidad; Categoría B y Clase 1; y Categoría B, Clase 2 y condiciones malas de estabilidad.
- **Susceptibilidad baja:** Categoría A, Clase 1 y condiciones muy buenas de estabilidad; Categoría B, Clase 1 y condiciones muy buenas de estabilidad.

Tabla V. Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos en las vías de la provincia Holguín.

Vías	Tramos	Susceptibilidad
Baracoa - Moa	1. Punta Gorda – Puente del río Moa	Alta
	2. Loma la Vigía	Alta
Moa - Sagua	3. Entrada Moa – Servicentro de Moa	Alta
	4. Centeno – Puente del río Centeno	Alta
	5. Entroque con Carretera Loma Miraflores – Cayo Chiquito	Media
	6. Cayo Chiquito – Los Indios	Media
	7. San Pedro – El Picado	Alta
	8. Los Calderos	Alta
Sagua - Mayarí Arriba	9. Miguel – El Caro	Alta
	10. Piedra Redonda – Naranjo Agrio	Alta
	11. La Alcarraza - Calabaza	Media
	12. El Solito – Río Grande	Media
Sagua - Levisa	13. Río Grande – Collazo Cuatro	Alta
	14. Tánamo - Téneme	Media
	15. Cabonico	Media
Levisa - Mayarí	16. Ojo de Agua - Guerrita	Alta
Mayarí – Pinares de Mayarí	17. Subida a la Meseta de Pinares de Mayarí	Alta
Mayarí - Holguín	18. Tacámara – Rejondón	Baja
	19. Santa Teresa - Haticos	Media
Manguitos - Banes	20. La Chivera	Media
	21. Diputada - Cortadera	Media
	22. Santo de Flores	Media
Banes - Guardalavaca	23. Salida de El Retrete	Media
	24. Cañadón	Alta
Holguín - Guardalavaca	25. Los Camilitos – Entrada de Sao Arriba	Media
Holguín - Velasco	26. Puente del río Hicacos – La Presa	Media



Tabla VI. Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos en las vías de la provincia Guantánamo.

Vías	Tramos	Susceptibilidad
Guantanamo – Baracoa	1. La Carbonera – Veguita del Sur	Media
	2. Ligornio – Alto de la Farola	Alta
	3. Alto de Cotilla – Caguey Baje	Media
	4. Caguey Baje – Jobo Dulce	Baja
Baracoa – La Tinta	5. Jobo Dulce – La Calzada	Baja
	6. Capiro – Veguita Prieta	Baja
	7. Alto del Pino – La Tinta	Media
	8. La Tinta – Cantillo	Media
	9. Cantillo – La Maquina	Baja
	10. La Maquina – Jobo Claro	Alta
	11. Jobo Claro – Boca del Yumurí	Alta
La Mulitica	12. Alto de Cotilla – Jobo Arriba	Alta
	13. Jobo Arriba – El ñame	Alta
	14. El ñame – Laborí	Alta
	15. El Crucero	Alta
	16. El Ramón – Palmarito	Alta
Vía Mulata	17. Naranjal – Quiviján	Alta
	18. El Barretero – Arroyo Frío	Alta
	19. Arroyo Frío – Tribilín	Alta
	20. Bernardo – El Cilindro	Alta
	21. Palenque de Yateras – Felicidad	Media
	22. Felicidad – Ciudad de Guantánamo	Baja
	23. El Molino – La Demajagua	Media
	24. El Manguito – Palma de la Cruz	Baja
Moa – Baracoa	25. Baracoa – Santo Domingo	Baja
Sagua – Guantánamo	26. Gran Tierra – La Isabelita	Mediana
	27. Achotal – Ciudad de Guantánamo	Baja

Tabla VII. Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos en las vías de la provincia Granma.

Vías	Tramos	Susceptibilidad
Entronque Pílon - Pílon	1. Entronque de la Pimienta - Guaicaje	Media
	2. La Alegría - Piloncito	Alta
Carretera Granma	3. Punta de Piedra	Alta
	4. Punta de Mota - Motica	Alta
	5. Motica – Punta Camaroncito	Alta
	6. La Penita – Camarón Grande – El Saiviel-Río Macío	Alta
Guisa – Victorino	7. Entronque – El Raudal	Baja
	8. El Raudal	Media
	9. La Sigua - Victorino	Media
Masó – Marea del Portillo	10. Las Mercedes – San Lorenzo	Alta
	11. San Lorenzo – Límite Pílon	Alta
	12. Límite Pílon – Marea del Portillo	Alta
Masó – Providencia – La Plata	13. Masó – La Sierrita	Baja
	14. La Sierrita - Providencia	Alta
	15. Providencia – Santo Domingo	Alta
	16. Santo Domingo – Límite Santiago	Alta
Medio Luna – Cinco Palma	17. Jobo Ladeado – El Rosario	Media



Tabla VIII. Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos en las vías de la provincia Sancti Spiritus de Cuba.

Vías	Tramos	Susceptibilidad
Autopista Nacional	1. Pedagógico Frank País – San Vicente	Media
	2. San Vicente - Manacas	Alta
Carretera Central	3. Chalóns	Media
	4. La Caoba – La Cruz	Media
	5. La Caridad – Río Frío	Alta
	6. Arroyo Blanco – Aguacate	Baja
	7. Perseverancia	Baja
Santiago de Cuba - Guantánamo	8. Nima - Nima	Media
Carretera Granma	9. Calentura – Río Grande	Alta
	10. Punta Babujal	Alta
	11. El Majá	Alta
	12. Peladero – La Mula	Alta
	13. Potrerillo – La Palmita	Alta
	14. Punta Las Llanas	Alta
	15. El palito – El Macío	Alta
	16. El Cupey - Verraco	Medio
La Estrella – Parque Baconao	17. San Benito	Medio
Alto Songo - Mayarí	18. El Gato – El Yayal	Media
Contramaestre – Maffo - Los Negros – El Francés	19. Brazo Muerto	Alta
	20. Río Seco	Alta
	21. Paso La Mina – Los Hernández	Alta
Baire – San Lorenzo – Río Seco	22. Pinalito – La Estrella	Alta
Mella – Pinares de Mayarí	23. El Sapo – La Gran Piedra	Alta
Acceso a la Gran Piedra	24. Boniato - Cañón	Alta
Autopista – San Luis – Boniato – Santiago	25. Prosperidad – La Calderaria	Alta
Carretera Central – Dos Palma – Cruce de los Baños	26. La Candelaria – La Mina	Alta
	27. El Sur	Alta
	28. Vía la Caridad	Baja
Acceso al Central Rafael Reyes		

## CONCLUSIONES.

1. El fenómeno geológico gravitacional con más probabilidad de ocurrencia en la región oriental es el derrumbe de los taludes artificiales de la red vial, de acuerdo a las características geológicas e ingeniero – geológicas de las rocas.
2. El agrietamiento y el grado de intemperismo de las rocas, se encuentran entre los factores pasivos que más influyen en la inestabilidad de los taludes.
3. Se determinaron en las vías cincuenta tramos con una susceptibilidad alta a los fenómenos gravitacionales (11 en Granma, 12 en Holguín, 16 en Santiago de Cuba y 11 en Guantánamo), treinta y uno con susceptibilidad media a los fenómenos gravitacionales (4 en Granma, 13 en Holguín, 6 en Santiago de Cuba y 8 en Guantánamo) y catorce con una susceptibilidad baja a los fenómenos gravitacionales (2 en Granma, 1 en Holguín, 3 en Santiago de Cuba y 8 en Guantánamo).
4. Las vías con mayor susceptibilidad de ser afectadas por los fenómenos gravitacionales y que requieren de un estudio más detallado de la estabilidad de sus taludes son en la provincia Granma: Masó – Providencia – La Plata, Masó – Marea del Portillo y Carretera Granma; en la provincia Santiago de Cuba: Carretera Granma y Acceso a la Gran Piedra, y en la provincia Guantánamo: Vía Mulata y Vía Mulatica.



## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Arango, E. D; Reyes, C. R; Fernández, B. C. 1997. Evaluación cualitativa del peligro geológico de la red vial en la provincia Santiago de Cuba para casos de sismos de gran intensidad. Reporte de Investigación, Fondos CENAI, 32pp.
- Chuy, T. J., Orbera, L., Hernández, J. R., Magaz, A., Sánchez, F., Pérez, C., González, E., Fundora, M., Rubio, M., Alvarez, J. L., Cotilla, M., Arango, E. D., Iturralde-Vinent, M., Rodríguez, J., Marquetti, M. C. y Ramirez, R. 1997. Dictamen Conclusivo. Comisión Ad-hoc para la determinación de las Zonas Sismogénicas de la región Oriental de Cuba y zonas aledañas. En: Revista Electrónica "Ciencia en su PC", Santiago de Cuba. ISSN 1027-2887, Vol. 2, No.2.
- Colectivo de Autores. 1976. Mapa geológico de la Región Oriental de Cuba. Escala 1: 100 000. CIG - MINBAS. La Habana.
- Fernández, B.C., Reyes, C. R. 2000. Evaluación cualitativa de los fenómenos de deslizamientos y derrumbes en los taludes de la red vial de la provincia Guantánamo en caso de sismos de gran intensidad. Reporte de Investigación, Fondos del CENAI, 33pp.
- Grupo de Cartografía Digital y Sistemas de Información Geológica (CASIG). 2000. Mapa Geológico Digital de la Republica de Cuba. Escala 1:100000. Instituto de Geología y Paleontología.
- Jakus, P. 1983: Formaciones vulcánicas – sedimentarias y sedimentarias de la Región Oriental de Cuba. Contribución a la geología de Cuba Oriental. Instituto de Geología y Paleontología. ACC. Editorial Científico – Técnico. La Habana, pp 17 - 111.
- Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering TC-4. 1993. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. 149 pp.
- Nagy, E. 1983. Ensayo de las zonas estructuro – faciales de Cuba Oriental. Contribución a la geología de Cuba Oriental. Instituto de Geología y Paleontología. ACC. Editorial Científico – Técnico. La Habana, pp 9 - 16.
- Pérez, N. 1983. Aspectos ingeniero – geológicos del levantamiento geológico de Cuba Oriental. Contribución a la geología de Cuba Oriental. Instituto de Geología y Paleontología. ACC. Editorial Científico – Técnico. La Habana, pp 173 - 185.
- Reyes, C. R., Vega, N. y Ríos, Y. 1998. Peligro geológico de la red vial de la provincia Holguín para casos de sismos de gran intensidad. Evaluación cualitativa de los fenómenos gravitacionales. Reporte de Investigación, Fondos del CENAI, 39pp.
- Reyes, C. R., Arango, E. D. 2000. Peligro geológico de la red vial de la provincia Granma. Evaluación cualitativa de los fenómenos de deslizamientos, derrumbes y desprendimientos de los taludes. Reporte de Investigación, Fondos del CENAI, 36pp.
- Reyes, C. R., Fernández, B. C.; Arango, E. D, Vega N. y Rios, Y. 2000. Criterios para la evaluación del peligro geológico por fenómenos gravitacionales bajo la acción sísmica. Caso de estudio: red vial de la provincia Holguín. En: Sismos perceptibles, Peligro y Vulnerabilidad Sísmica en Cuba. ISBN 959-02-0243-8. pp 51 – 64.



## **DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE ATENUACIÓN PARA LA RELACION DE MAGNITUD LOCAL $M_L$ EN VENEZUELA**

**RENDÓN Herbert, ALVARADO Leonardo, VÁSQUEZ Danieliz**

***República Bolivariana de Venezuela, FUNVISIS Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas***

A partir del mes de septiembre del año 2000, la Red Sismológica Venezolana ha experimentado un proceso de modernización con un sostenido crecimiento en el número de estaciones sismológicas que dan cobertura a la Geografía Nacional. Para la presente fecha, la Red Sismológica Nacional está conformada por treinta y seis estaciones equipadas con sensores del tipo de Banda-Ancha y adelanta en el proceso de instalación de hasta cuarenta estaciones para conformar cinco arreglos locales equipados con sensores con respuesta hacia los cortos períodos; a la fecha, se han instalados hasta seis estaciones de este tipo en la región central del país. Tal emplazamiento de estaciones ha propiciado una necesaria revisión en la fórmula de la magnitud local  $M_L$  usada en Venezuela; en tal sentido se dispuso de las formas de ondas generadas por sismos a partir de julio del año 2002 para obtener lecturas de la amplitud máxima del movimiento del terreno y sus correspondientes estimados de los registros simulados en equipos Wood Anderson. En total, se analizaron más de ochocientos sismos que conjuntamente con las estaciones disponibles permitieron una cobertura de rayos sísmicos en la región comprendida entre 7° y 12° Latitud Norte, y 62° y 72° Longitud Oeste. El conjunto de las lecturas de amplitud así obtenidas, conjuntamente con sus distancias hipocentrales correspondientes fueron modeladas según la siguiente ecuación:  $M_L = \log(A) + kR + n\log(R) + C_j$ , donde el coeficiente  $k$  corrige por la atenuación inelástica, el coeficiente  $n$  corrige por la atenuación geométrica y el término  $C_j$  corrige la anomalía asociada a cada estación. Estos coeficientes fueron determinados a partir de la inversión del sistema de ecuaciones obtenido y con la aplicación del método de los mínimos cuadrados. Para la región arriba indicada los valores de  $n$  y  $k$  obtenidos son:  $k = 0,0014$  y  $n = 1,16$ .



## ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS EN LOS TALUDES DE LOS YACIMIENTOS LATERÍTICOS

**G Licinio Matos Elías<sup>(1)</sup>, y Maria Isabel De la Cruz<sup>(1)</sup> Rafael Guardado la Baca<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Empresa: Ernesto Che Guevara, Carretera Yagrumaje Km 5 1/2 Punta Gorda, Moa, Holguín;  
[LMelias@ecg.moa.minbas.cu](mailto:LMelias@ecg.moa.minbas.cu); [MGarcias@ecg.moa.minbas.cu](mailto:MGarcias@ecg.moa.minbas.cu).

<sup>(2)</sup> Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Av. de Los Martires Rpto Coloradas,  
[Rguardado@ISMM.moa.educ.con](mailto:Rguardado@ISMM.moa.educ.con).

### RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio de los taludes mineros por escombreras, viales, extracción de masa minera, en el yacimiento Punta Gorda, caracterizando los factores condicionales de los procesos erosivos que ocasionan deslizamientos. Las condiciones dependen de los ciclos lluviosos, de la actividad sísmica de la zona y de los factores antrópicos, cuando los laboreos no se realizan por los resultados que aportaron los estudios Ingeniero geológicos, se ha logrado de mostrar que no se cumple con los valores de ángulo de inclinación de los taludes para la explotación del yacimiento Punta Gorda.

Los movimientos de masas en el Yacimiento Punta Gorda que afectan las operaciones mineras fueron clasificados (Desprendimiento o caída libre, Vuelco, Expansiones laterales, Flujos) lo que permitirá tomar las medidas correctoras para cada caso teniendo en cuenta que el ángulo umbral a partir del cual ocurren los movimientos de masa es entre 40 y 65 grados.

Se determinan las medidas correctoras que se deben de tomar para disminuir los movimientos de masas en el yacimiento Punta Gorda.

### ABSTRACT

This paper deals with a research, performed about the mine slopes per refuse dumps, mine roads, mining mass extraction at Punta Gorda ore deposits by which the conditional factors of the erosions processes causing landslides are pointed out.

The conditions depend on the rainfall cycles, the zone seismic activity and the anthropic factors, when the mining works are not carried out according to geological engineering investigations. It has been proved that the mine slope inclination angle values are not complied for Punta Gorda ore Deposit mining operations.

Punta Gorda Ore deposit mass movement affecting the mining operation were classified, (Landslide or free fall, turn over, side expansions, slows) so it will allow to implement the corrective actions for each case, taking into considerations that the threshold angle from which the mass movement occur is between 40° and 65°.

The corrective actions are determined in order to reduce Punta Gorda ore deposit mass movement.



## INTRODUCCIÓN:

La industria del níquel es un renglón exportable de gran importancia para la economía cubana, proceso industrial que se inicia con el minado. El yacimiento Punta Gorda, como todos los otros yacimientos lateríticos se ve afectado por los procesos erosivos, donde el agua es el principal agente de arrastre de material. Dada las características del clima en esta región donde predominan las abundantes precipitaciones durante todo el año y las características arcillosas del suelo, provocan un gran arrastre de material,

**Problema:** Incremento de l proceso erosivo y condicionantes que favorecen la inestabilidad de taludes en el área del yacimiento Punta Gorda.

**Objetivo general:** Caracterizar y evaluar los riesgos geólogos - mineros por deslizamientos debido a los procesos erosivos en el yacimiento Punta Gorda.

### Objetivos específicos:

- Caracterizar los factores condicionales de los procesos erosivos que ocasionan deslizamientos.
- Clasificación de los deslizamientos.
- Metodología para la estabilidad de taludes.
- Proponer medidas de corrección o mitigación de la erosión en el yacimiento.

### Hipótesis:

Si conocemos y caracterizamos los factores condicionales de los procesos erosivos, así como la forma de manifestarse en el yacimiento es posible implementar un sistema de medidas para un mejor manejo y control de la erosión en las áreas y de los deslizamientos del yacimiento Punta Gorda.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El yacimiento Punta Gorda ha sido explotado durante más de 15 años. Uno de los principales problemas ha sido el control de la erosión, sedimentación e inestabilidad de los taludes, debido al minado, construcción de escombreras con taludes de gran altura, construcción de caminos mineros, construcción de depósitos de mineral en diferentes áreas del mismo, lo que ha favorecido la actividad erosiva

La erosión se ha mostrado en sus dos variedades, tanto la erosión laminar como las cárcavas. Cuando ocurren las precipitaciones, debido a su abundancia y las características arcillosas del suelo provocan que la mayor parte de esta agua se escurra, arrastrando consigo grandes volúmenes de material.

Los procesos de erosión hídrica en suelos lateríticos, y por ende las modificaciones geomorfológicas, ocurren influenciado por las acciones antrópicas, alcanzándose un desequilibrio dinámico. El Laboreo Minero remueve los materiales insitus, es decir bien compacto, los cuales pierden la cohesión favoreciendo la erosión.

El proceso de erosión no se produce de manera aislada, es parte del conjunto de transformación erosión-sedimentación-inestabilidad de suelos. De acuerdo al objetivo del estudio se debe evaluar los tipos de deslizamientos que ocurren y las medidas correctoras

### Evaluación de los riesgos geológicos por deslizamientos.

La frecuencia con que ocurren los deslizamientos está en función de la repetitividad de las circunstancias que favorecen la inestabilidad de los taludes. Las condiciones dependen de los ciclos lluviosos, de la actividad sísmica de la zona y de los factores

antrópicos, cuando los laboreos no se realizan por los resultados que aportaron los estudios Ingeniero geológicos.

**Tabla I : Valores de los ángulos de inclinación de los taludes para el yacimiento Punta Gorda según la potencias:**

	m(potencia metros) Promedio máximo	F (Factor de seguridad)	Angulo de inclinación de los taludes
Yacimiento P. Gorda	15	1,5	77
		2	62
		3	48
	30	1,5	48
		2	46
		3	38

Fig.1. Deslizamiento de talud por no tener en cuenta el valor de los ángulos para los taludes

Los valores de los ángulos de inclinación para los taludes fueron calculados

**C.....**

$F * P_v * m$

Donde:

- C - Cohesión
- F - Factor de seguridad
- $P_v$  - Peso volumétrico
- m - Potencia

1. Cuando coinciden condiciones tales como alto nivel freático en el talud, potencia mayor de 3m de la serpentinita desintegrada y la ocurrencia de intensas lluvias
2. es muy probable que existan deslizamientos de tal envergadura como fueron observados en dicha área

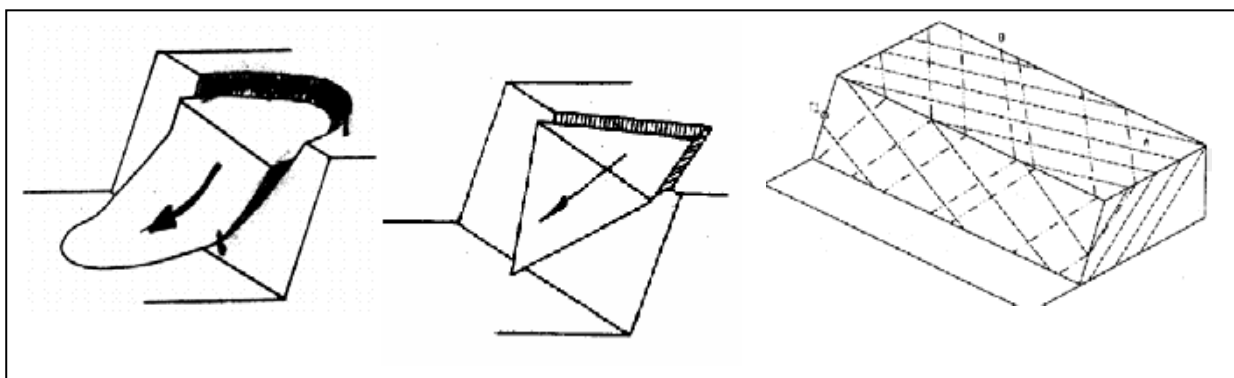
**Propuesta de tipología de los fenómenos considerando la inestabilidad del terreno en laderas para el Yacimiento Punta Gorda.**

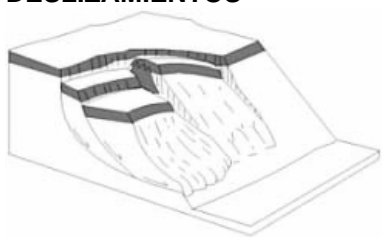
Los movimientos de masas que ocurren en el Yacimiento Punta Gorda por su naturaleza se pueden considerar en tres tipo de clasificación tipológica.

- Desprendimientos por laderas.
- Pequeños deslizamientos.
- Grandes deslizamientos.

**Tabla II. Clasificación Tipológica**

Clasificación:	Tipología	Caracterización
<b>1 DESPRENDIMIENTOS EN LADERAS</b>	Caídas de piedras/bloques ( <i>Chutes de pierres/blocs; Rock fall</i> )	Considera diferentes tipos de mecanismos de inicio: vuelcos, deslizamientos, tracción, etc. Zona de salida puntual volumen < 100 m <sup>3</sup> frecuencia variable
<b>2. PEQUEÑOS DESLIZAMIENTOS</b> 	Deslizamiento superficial: Deslizamiento traslacional, Deslizamiento rotacional (movimientos simples y movimientos mixtos o complejos): Deslizamiento traslacional/ rotacional con flujo al pie, (movimientos mixtos o complejos).	De pequeñas dimensiones diferentes tipos de mecanismos de inicio generalmente movimiento fluidal al pie afecta a las formaciones superficiales rápido Frecuencia mediana a alta. Ligada a determinados eventos pluviométricos frecuencia mediana a alta.
	Corrientes de derrubios, Flujos de derrubios o detríticos (" <i>lave torrentielle</i> "; <i>debris flow</i> ) <podemos ligarlo a la tipología anterior>:	Zonas de salida puntuales En general involucran volúmenes pequeños - medianos (< 10 m <sup>3</sup> ) de materiales superficiales en laderas. Recorridos lineales bien definidos, muchas veces con conexión con la red de drenaje. Aportación de sólidos al transporte fluvial-torrencial. Velocidades desde pocos m/s hasta 10 - 20 m/s. Frecuencia mediana a alta. Ligada a determinados eventos pluviométricos.



<p><b>3.GRANDES DESLIZAMIENTOS</b></p> 	<p>Deslizamiento traslacional: movimiento de rotura planas (Block slide)</p> <p>Deslizamiento rotacional: movimiento de rotura circular (Slump)</p> <p>Deslizamiento traslacional/rotacional con flujo al pie: movimiento mixto o complejo</p>	<p>Son de grandes dimensiones, tienen forma de lengua o de gran lóbulo las velocidades medias del movimiento pueden variar entre: cm-dm/año a cm-m/día.(pueden no ser homogéneas en total la colada)..</p> <p>Zonas de salida puntuales En general involucran volúmenes medianos - grandes (&gt;1.000 m3) de materiales de laderas Recorridos liniales bien definidos y relativamente largos, muchas veces con conexión con torrenteras. Se debería considerar la aportación de sólidos al transporte fluvial-torrencial. Velocidades de 10 hasta a 50 m/s.</p>
--	--	---

### Diferentes tipos de movimientos de masas en taludes del Yacimiento Punta Gorda.

La **erosión** puede degradar seriamente un talud en rocas, ya sea por flujo concentrado de aguas superficiales, o debido a erosión interna o tubificación, particularmente en sedimentos poco cementados, en suelos lateríticos del yacimiento la humedad natural de esto es alta, mas de 68 %.y poseen altos niveles de presión capilar. La erosión interna y el acarreamiento pueden ocurrir cuando los taludes contienen material suelto en contacto con una roca dura, lo cual ocurre sistemáticamente en series de rocas serpentizadas y zonas de falla. Si los suelos erosionables están aguas abajo de una roca con fracturas abiertas, la filtración puede iniciar un proceso de erosión rápida, el cual pone en peligro la masa ocrosa al cambiar la configuración de la excavación y socavar su soporte. Si los suelos erosionables están aguas arriba de las discontinuidades abiertas, es posible la erosión interna en las fracturas, pero generalmente causa menor daño al talud (aunque puede ser perjudicial para estructuras aguas arriba).

**A. Desprendimiento o caída libre:** Es el movimiento de una porción de suelo o roca, en forma de bloques aislados o masivamente que, en una gran parte de su trayectoria desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes, y rodaduras (Corominas 1989 et al). El **desprendimiento (ravelling)** se refiere al relajamiento y erosión progresiva de cantos o bloques de la superficie del talud. Es un proceso de desgaste de masas y erosión gradual por meteorización y transporte gravitatorio. Las rocas altamente fracturadas, como son serpentinas, las arcillas frágiles que pueden llegar a formar grandes conos de deyección por este proceso. Dependiendo de la forma de la sección del talud, las partículas en movimiento pueden llegar a convertirse en proyectiles.

**El fracturamiento en capas (sheet jointing)** describe estructuras por extensión que se forman a poca profundidad y paralelas a la superficie. El fracturamiento en capas clásico, que ocurre en rocas graníticas y en areniscas masivas, existe antes de la excavación y es sub-paralelo a la pendiente original del talud. Sin embargo, tiende a formarse un nuevo fracturamiento en capas paralelo al talud, con pendiente fuerte en rocas duras o blandas que estén relativamente sanas. Si la inclinación de este fracturamiento es mayor que el ángulo de fricción entre las paredes de la discontinuidad, como suele ocurrir, el talud es estable solamente por acción de los esfuerzos de tensión en la parte superior de la porción más acantilada de las capas,





las cuales en realidad quedan colgando. Las grietas nuevas, permiten que estas capas se desprendan. La meteorización de estas capas reduce la resistencia a la tensión (a una velocidad sorprendente en climas húmedos y cálidos), permitiendo su desprendimiento y consecuente caída.

**El deslizamiento en bloque (*block sliding*)** en un plano de debilidad puede ocurrir solamente después de que la masa a deslizarse haya sido completamente aislada. En el caso de una masa de roca con un grupo dominante de juntas de estratificación, el deslizamiento no puede ocurrir a no ser que el aislamiento lateral del bloque se logre por la presencia de arroyos o bien si en los costados ha ocurrido desplazamiento lateral tipo falla por cortante. Esto último se facilita por la ocurrencia de fallas individuales o zonas de cizallamiento que cortan la masa a deslizarse en una dirección más o menos paralela al buzamiento de la superficie de deslizamiento.

Los bloques definidos por tres o más sistemas de fracturamiento sensiblemente paralelos no requieren de ninguna otra estructura o elemento topográfico si definimos que son removibles en el espacio excavado. Una prueba simple de movilidad determinada por el teorema de Shi, es una de las contribuciones más importantes de la teoría de bloques, como fue tratado por Goodman (1995). Los bloques que pueden ser removibles pueden deslizarse en un solo plano o en dos planos que se intersectan, moviéndose a lo largo de una de las aristas del bloque (una línea de intersección entre dos fracturas). También pueden moverse en un modo rotacional, como será descrito a continuación.

**Los deslizamientos de cuña (*wedge slides*)** ocurren en taludes convexos cortados solamente por dos superficies de discontinuidad no paralelas. En estos casos, los bloques son labrados con aproximadamente cuatro caras por los dos planos de discontinuidad en la roca y por dos planos tangentes a la superficie. Por lo tanto no es necesaria la presencia de superficies laterales para aislar el bloque cuando éste está a punto de deslizarse. En consecuencia, grandes masas deslizantes pueden ser liberadas por la intersección de una zona de cizallamiento o una falla de contacto entre dos miembros o dos formaciones o cualquier otra estructura bien definida, como un plano de estratificación buzante. Un ingeniero o un geólogo a quien se confía la seguridad de taludes en roca tiene que poner atención especial a la interpretación del mapa geológico de un proyecto, para asegurarse que este tipo de intersección no quede expuesta por la excavación proyectada.

**B. Vuelco:** Son movimientos de rotación hacia el exterior de una unidad o de un conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo del centro de gravedad de la masa movida.

**C. Expansiones laterales:** Los deslizamientos son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movilizada se desplaza como un bloque único y según la trayectoria descrita los deslizamientos pueden ser rotacionales o traslacionales. El movimiento dominante en las expansiones laterales es la extrusión plástica lateral, acomodada por fracturas de cizalla o de tracción que en ocasiones pueden ser de difícil localización.

**D. Flujos:** Es el movimiento de una masa desorganizada o mezclada donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni su trayectoria tienen que ser paralela. Debido a ello la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas (Corominas, 1989 a ).



## Evaluación de la peligrosidad y riesgos en el Yacimiento

### Definiciones

**Peligro de deslizamientos de tierra:** representado por la susceptibilidad, que es la probabilidad de la ocurrencia de un deslizamiento de tierra potencialmente dañino en una determinada área.

**Vulnerabilidad:** es el nivel de poblaciones, propiedades, actividades económicas, incluyendo los servicios públicos, etc., en riesgo en determinada área como resultado de la ocurrencia de un deslizamiento de tierra de determinado tipo.

**Riesgo (específico):** el monto de las pérdidas esperadas por causa de un fenómeno particular de deslizamiento.

### Caracterización ingeniero geológico de los taludes

Talud 1 (0/50) (Bloque: N – 50). Está representado por corteza laterítica de color amarilloso donde existe escombros en su superficie y serpentinita en su borde inferior, la masa desplazada presenta una potencia máxima de 20 m, y mínima de 15m; sus dimensiones, en sentido del movimiento son de 30m y perpendicular al movimiento 80 m. No existe vegetación y en las paredes es nula la existencia de flujos de agua, pero su base es el límite de un embalse lo que provoca remojamiento del pie. El movimiento es de bloque rotacional, donde la causa fundamental de la pérdida de resistencia al corte son las intensas

lluvias. Cabe destacar que el avance del movimiento de la masa tiene una dirección preferencial de Este a Oeste. La ubicación de los taludes estudiados esta mostrada en la figura 7.

2. Talud 2 (350/50) (Bloque: N – 50). Se desarrolla sobre los ocres inestructurales con concreciones ferruginosas redepositados sobre corteza in situ, donde la masa desplazada presenta una potencia máxima desplazada de 15 m, sus dimensiones, en sentido del movimiento es de 5 m y perpendicular al movimiento es de 15 m, la causa fundamental de la pérdida de la resistencia al corte son las intensas lluvias, no existe presencia de agua, pero hay evidencias que el agua escurre por las cárcavas presentes en su parte superior, desarrolladas sobre grietas relicticas del suelo. La vegetación es nula en toda el área y el movimiento se encuentra progresando hacia el oeste, siendo este un movimiento de bloque rotacional.

3. Talud 3 (20/60) (Bloque: N - 49). Desarrollado en áreas minadas y representado por corteza laterítica insitu de color rojo-pardo-amarillento donde la potencia de la masa desplazada es de 12 m como máxima, su longitud, en sentido del movimiento es de 60m y perpendicular al movimiento de 20 m, siendo desplazado el material por las intensas lluvias; no se conservan los escalones del deslizamiento y se ha erosionado gran cantidad de material, la vegetación es nula y no existen flujos de agua. Cerca del pie se encuentra un pequeño embalse. El movimiento es combinado bloque rotacional-cuña.

4. Talud 4 (0/51) (Bloque: Q – 50). Desplazamiento ocurrido en corteza laterítica in situ con algunos elementos redepositados, donde la lluvia ha sido el factor principal para su ocurrencia. La masa desplazada tiene potencia máxima de 20 m, su longitud, en sentido del movimiento 40 m y perpendicular de 35 m; no existe vegetación alguna en toda el área que este ocupa y en la base del mismo se observan pequeñas corrientes superficiales que remojan toda el área. Esta masa se desplazo hace algún tiempo. Es un movimiento de bloque rotacional.

5. Talud 6 (65/40) (Bloque: R – 52). Movimiento que se ha producido en los ocres inestructurales con concreciones ferruginosas redepositadas sobre corteza laterítica no acta para la explotación, siendo las lluvias la posible causal como factor desencadenante, donde la masa desplazada presenta una potencia de 15 m y las dimensiones tanto en el sentido como perpendicular al movimiento son de 15 m. En la superficie del mismo se observan vegetación reforestada, sus lados están bastantes apantados por las lluvias y hay pequeñas corrientes de agua superficiales en el pie, que lo remojan en su totalidad. El movimiento es de bloque rotacional.



6. Talud 8 (0/70) (Bloque: Q – 49). Este movimiento se desarrolló sobre la corza laterítica in situ, de color rojo amarillento con intercalaciones de arcilla, la lluvia fue la causal. Presenta potencia máxima de 8 m, su longitud, en sentido del movimiento es de 15 m y perpendicular al movimiento de 25 m. No existe vegetación que proteja al suelo de la incidencia directa del agua, además de presentar abundantes flujos de agua en la base del mismo, existen manantiales que permanentemente están brotando. Se cataloga como un movimiento combinado de bloque rotacional-cuña.

7. Talud 10 (28/45) (Bloque: Q – 54). Movimiento desarrollado en corteza laterítica in situ, con gran espesor de los ocreos estructurales con concreciones ferruginosas, su color varía y existen varias intercalaciones de arcillas, la masa desplazada que presenta una potencia máxima de 40 m y mínima de 5 m, su longitud, en sentido del movimiento es de 60 m y perpendicular de 50 m. La masa se dislocó en varios escalones y aún quedan bloques en estado progresivo. Existe vegetación autóctona, donde una gran parte fue destruida por el deslizamiento, así como pequeños flujos de agua en la base y unos metros mas arriba existen pequeños manantiales. Es un movimiento combinado bloque rotacional-cuña. Aplicando el método de cálculo propuesto por Hoek y Bray (Instituto Tecnológico Geo Minero de España, 1991) para los taludes deslizados con las características antes descritas

8. Talud 10 (Bloques: R – 46 y 47). Movimiento que se ha producido en la corteza laterítica que esta en explotación, siendo las lluvias, agua subterránea y la pendiente las causas como factor desencadenante, donde la masa desplazada presenta una potencia de 5 m y las dimensiones tanto en el sentido como perpendicular al movimiento son de 10 m.. El movimiento es de bloque rotacional y caída libre.

9. Talud 11 (Bloque P-48). Movimiento que se ha producido en los ocreos estructurales con sobre corteza laterítica acta para la explotación, siendo las lluvias la posible causal como factor desencadenante, donde la masa desplazada presenta una potencia de 10 m y las dimensiones tanto en el sentido como perpendicular al movimiento son de 5 m. En la superficie no existe la vegetación,. El movimiento es de bloque rotacional.

10. Talud 12 (Bloque L-47) Movimiento que se ha producido en la corteza laterítica que esta en explotación, siendo las lluvias, agua de correntía y la pendiente las causas como factor desencadenante, donde la masa desplazada presenta una potencia de 5 m y las dimensiones tanto en el sentido como perpendicular al movimiento son de 10 m.. El movimiento es de bloque rotacional.

11. Talud 13 (Bloque Q-52 y 53) Movimiento que se ha producido en la corteza laterítica con presencia de intercalaciones de arcilla, siendo las lluvias, agua subterránea y la pendiente las causas como factor desencadenante este deslizamiento esta en el eje de una falla local que se encuentra en esa área, masa desplazada presenta una potencia de 8 m y las dimensiones tanto en el sentido como perpendicular al movimiento son de 16 m de largo. El movimiento es de bloque rotacional.

Los deslizamientos ocurridos en los taludes del yacimiento Punta Gorda se observan en el plano de ubicación de los deslizamientos

### **Factores que afectan la estabilidad del terreno**

La estabilidad de las laderas está condicionada por la acción simultanea de una serie de factores. Desde un punto de vista físico los deslizamientos se producen como consecuencia de los equilibrios existentes entre la fuerza que actúan sobre un volumen de terreno. Los factores que influyen en la estabilidad de las laderas se pueden clasificar en dos grandes grupos (Ferrer, 1987).

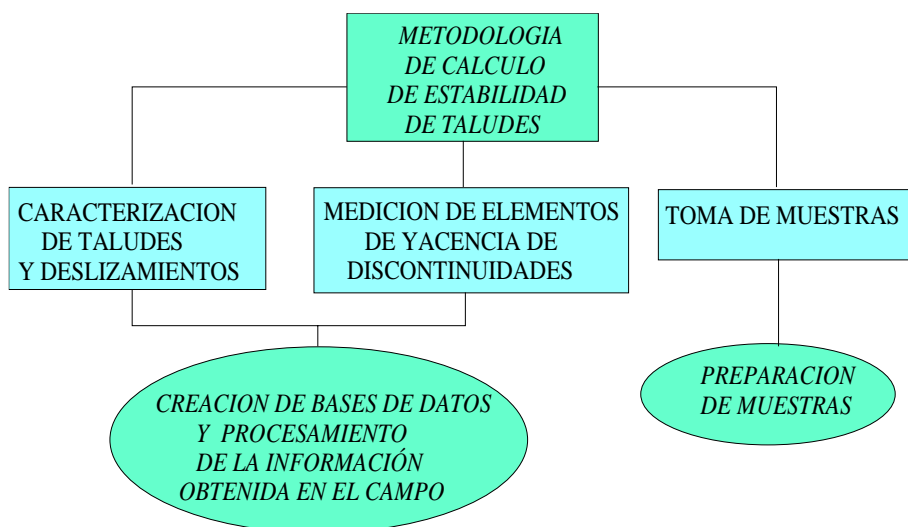
**Factores internos:** Condicionan las diferentes tipologías de deslizamientos, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de ellos encontramos características intrínsecas relativas a las propiedades del material y a su resistencia y las características extrínsecas no relacionadas con el material y sí con la morfología de la ladera y condiciones ambientales de ésta. Las primeras incluyen parámetros como la



litología, textura (Granulometría, cementación), consolidación y espesor de los materiales y parámetros estructurales relativos a planos de estratificación y de debilidad (diaclasas, fallas y fracturas). En las características extrínsecas podemos encontrar las morfológicas como la pendiente de la ladera y su posición con discontinuidades geológicas y la orientación (relacionada con la humedad del terreno), y factores de tipo ambiental como cambios estacionales de temperatura y tipo y cambio en la vegetación. La pendiente del terreno así como la morfología propia de la ladera es un factor y condicionante previo a partir del cual el reto de factores se combinarán influyendo en la estabilidad.

**Factores externos:** Actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando las roturas debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio de aquellas. Tres tipos de acciones se incluyen aquí

1. La infiltración de agua en el terreno: Provoca el aumento de la presión intersticial disminuyendo la resistencia de los materiales, las variaciones del nivel de agua subterránea pueden ser debido a las precipitaciones, intervenciones humanas.
2. Las vibraciones: Provocan aceleraciones en el terreno favoreciendo la rotura y la licuefacción. Estas pueden ser debidas a movimientos sísmicos naturales o inducidos por el hombre.
3. Modificaciones antrópicas: La actividad humana altera el equilibrio de las laderas debido a cargas estáticas provocadas por construcciones de edificios, construcciones de taludes para los viales, Excavaciones mineras, cambios producidos en el recubrimiento vegetal como el desbroce, la repoblación con especie alóctonas.



#### **Organigrama de la metodología empleada para la evaluación de la estabilidad de los taludes en el yacimiento Punta Gorda (R. Guardado Lacaba 2001 et al)**

El siguiente diagnostico fue aplicado a cada talud:

1. Reconocimiento visual del mismo, croquis de su estado, situación geológica, características, daños observados, sistemas de protección, laboreos mineros.
2. Mediciones de la orientación e inclinación del talud.
3. Toma de muestras, estudio de las propiedades físicas, acuíferas y mecánicas de los suelos y rocas.
4. Estudio del agrietamiento según las características y magnitud del sistema roca – suelo laterítico, midiendo dirección, buzamiento, rugosidad, apertura, grado de meteorización, continuidad, separación y otros indicadores del medio geológico.
5. Determinación de la calidad del sistema roca – suelo laterítico con el empleo del método Bieniawski.

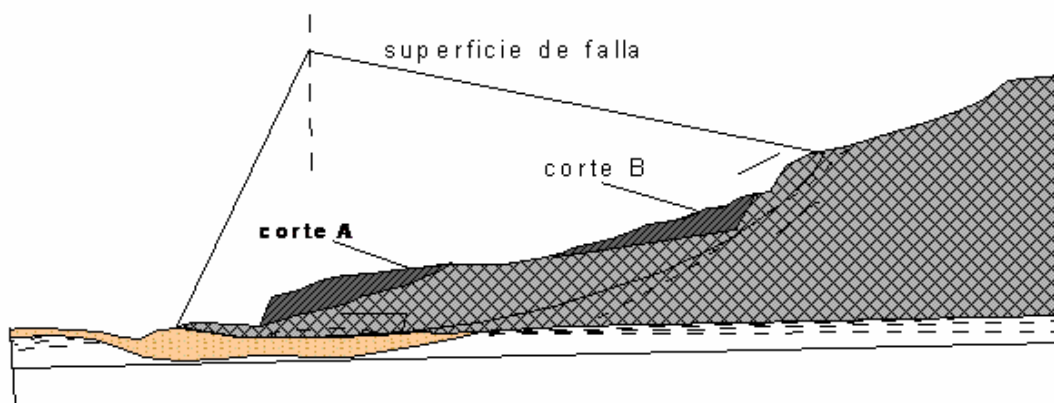


6. Croquis del medio –fotos
7. Factores de ajuste por orientación de grietas: utilización del método propuesto por Romana (1985).
8. Cálculo de la estabilidad de taludes aplicando los criterios de rotura.

## METODOLOGIA DE CALCULO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

### Medidas correctoras que se deben de tomar para disminuir los movimientos de masas en el yacimiento Punta Gorda.

1. Medidas sobre la Geometría del talud: Durante la minería o la construcción de taludes por la ejecución de los viales, los taludes deben de tener la inclinación proyectada teniendo siempre presente la altura y las propiedades ingeniero-geológica por lo que quedarían con pendiente suave y con menos riesgo a deslizamientos y disminuir el peso sobre la superficie de falla.



2. Medidas sobre el sistema de drenaje: Las áreas en minería, las preparadas y las listas se le confeccionan sistema de drenaje por canales antes de la minería, durante la minería y posterior a la minería

3. Medidas sobre el control de la erosión: Es necesario proteger los taludes de los caminos o laderas con vegetación u otros materiales para evitar la acción de los agentes erosivos.

### Para el calculos de Talud

1. Bloque Q-50.
2. Altura del talud 20 metros.
3. Angulo de inclinacion del talud 45 grados.
4. Grieta de traccion del talud de 14 metros de profundidad a 8 metros del borde del talud hacia adentro.

Al calcular el factor de estabilidad del mismo por el metodo de rotura Planar considerando que en este metodo el deslizamiento se produce a travez de una superficie plana, donde el factor de seguridad se obtiene de forma directa como cociente entre las fuerzas que tienden a producir el deslizamiento y las fuerzas de resistentes del terreno que oponen al mismo.

### Se calculo en dos variantes:

1. Sin la presencia de aqua en su interior, el factor de Seguridad de talud dio un valor de 1.24. Por este resultado el talud se considera estable.
2. Con la presencia de aqua a 5 metros en su interior el factor de seguridad toma un valor de 0.85 es decir un talud inestable propenso a deslizamiento al,cual hay que protegre teniendo en cuenta la caracterizacion del mismo.





Además en el estudio integral al deslizarse el talud se encontró que el interior del mismo estaba además atravesado por una zona de falla, por lo que debió proyectarse con menor altura, es decir menor inclinación para que pudiera soportar las 300 toneladas aproximadamente que pesa la Draglina.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- Dictinio de Dios "Tesis de grado "
- Orlis Pis Ramírez "Tesis de grado. Algoritmo para la proyección y control de los caminos mineros en la mina de la Empresa Ernesto Che Guevara". , año 2001
- Blanco Torrens Roberto y Díaz Díaz Miguel. " Construcción de superficie de minas".
- Benítez Olomedo Raúl. " Trazado de Vías". Editorial ISJPJAE, 1986.
- Escario y Nuñez del Pino José Luis. Caminos Tomo I. Madrid 1967.
- Herbert L. Nichols, Jr. Movimiento de tierras, manual de excavaciones. Instituto cubano del libro.
- Informe Geológico Subdirección de Mina ECECG.
- Nichols Herbert L, Jr. Movimiento de tierras Manual de Excavaciones. Edición Revolucionaria, La Habana Cuba Instituto del Libro.
- Perira Hernández Segundo, Polanco Almanza Ramón. Transporte Minero.
- Valle Rodas Raúl. Carreteras Calles y Aeropistas. Editorial científica técnica. Instituto cubano del libro, la habana 1975.
- Yuri Almaguer Carmenates, Rafael Guardado Lacaba. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba





## **FACTORES FÍSICO-NATURALES Y BIOLÓGICOS QUE CONDICIONAN LA AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA MICROCUENCA DE DRENAJE DE LA QUEBRADA CURUCUTÍ, ESTADO VARGAS, VENEZUELA**

**Henry Pacheco<sup>1</sup>, Williams Méndez<sup>1</sup>, Scarlet Cartaya<sup>2</sup>**

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, <sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra, Núcleo de Investigación "Estudios del Medio Físico Venezolano", e-mail: henrypacheco@hotmail.com / wjmendezmata@yahoo.com / <sup>2</sup>Departamento de Geografía e Historia, Cátedra de Geografía Física, e-mail: scartaya@yahoo.com

Las intensas y prolongadas precipitaciones registradas durante los días 14, 15 y 16 de Diciembre de 1999 que afectaron principalmente la vertiente norcaribeña de la Serranía del Ávila, constituyeron el efecto "gatillo" que determinó el umbral de activación de los excepcionales aludes torrenciales, generados por la inestabilidad de los materiales del manto de alteración en las vertientes debido a la sobresaturación de agua en éstos, así como de los sedimentos depositados en los cauces de los ríos y quebradas por la rápida y efectiva concentración de los flujos superficiales. Por ello, el objetivo fundamental del presente trabajo es identificar, caracterizar y analizar los factores físico-naturales y biológicos, cuya interrelación determina condiciones de inestabilidad que propician la génesis y activación de procesos de remoción en masa en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela. La metodología se basó en la recopilación, análisis e interpretación de la información bibliográfica y cartográfica existente, y su adaptación en específico para el área de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí. Un gran apoyo de información actualizada para este trabajo, lo constituyen el "Proyecto Ávila: Mapa de Riesgos" llevado a cabo por el Instituto Geográfico de Venezuela "Simón Bolívar" y el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales; y el "Plan de Manejo para la Ordenación y Restauración Ambiental del Eje Arrecife – Los Caracas" elaborado por la Autoridad Única de Área para el estado Vargas y la empresa Ecology and Environment. La compleja dinámica que se deriva de la interrelación entre las distintas variables que constituyen los medios físico y biológico en el área de la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, le confieren a este sistema hidrogeomorfológico como al resto de las cuencas de la vertiente norte del Macizo del Ávila, características particulares que denotan una alta fragilidad y sensibilidad ante la ocurrencia de fenómenos extremos (lluvias extraordinarias, aludes torrenciales y terremotos principalmente) capaces de generar umbrales y respuestas drásticas y violentas, con impactos severos en el medio socio-económico. Los elementos y/o factores principales que condicionan la estabilidad relativa de los materiales de alteración en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, están representados por : (a) la susceptibilidad del sustrato geológico (rocas y minerales) a los procesos meteóricos y erosivos; (b) el control geológico-estructural (foliación, diaclasas y fallas); (c) la topografía de desniveles altimétricos considerables, y pendientes fuertes y abruptas del relieve montañoso; (d) la escasa profundidad de los perfiles de meteorización de la litología; (e) el rápido humedecimiento de los perfiles de meteorización en presencia de lluvias intensas y duraderas; (f) la ocurrencia de lluvias extremas en intensidad y duración; (g) la actividad sísmica asociada principalmente al sistema de fallas de San Sebastián; y (h) la media a mala densidad de cobertura de la vegetación.

**Descriptores:** Amenaza natural, remoción en masa, cuenca de drenaje, quebrada Curucutí, estado Vargas, Venezuela.

## ESTIMACIÓN Y ZONACIÓN DE ESCENARIOS DE PELIGROS Y LA VULNERABILIDAD POR PROCESOS GRAVITACIONALES E HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS, EN EL MACIZO GUAMUAHAYA MONTAÑOSO DE, CUBA: UNA METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN PARA ZONAS MONTAÑOSAS

**J. L. Cuevas Ojeda<sup>(1)</sup>, B. Polo González<sup>(1)</sup>, I. I. Pedroso Herrera<sup>(1)</sup>, M. J. Fundora Granda<sup>(1)</sup>, L. A. Díaz Larrinaga<sup>(1)</sup>, J. F. Alcalde Orpí<sup>(2)</sup>, E. Jaimez Salgado<sup>(2)</sup>, M. Guerra Oliva<sup>(2)</sup>, Y. González Jorge<sup>(1)</sup>, S. E. Pacheco Moreno<sup>(2)</sup>, B. E. González Raynal<sup>(3)</sup>, J. A. García Peláez<sup>(3)</sup>, L. D. Pérez Lara<sup>(3)</sup>, G. Saura González<sup>(4)</sup>, R. Osés Rodríguez<sup>(4)</sup> y W. Hernández Viera<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Dpto. Geofísica Regional y Riesgos, <sup>(2)</sup> Dpto. Estudios Geoambientales, Instituto de Geofísica y Astronomía. Email: jlcuevas@iga.cu

<sup>(3)</sup> Dpto. Sismología Ciudad Habana, Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas

<sup>(4)</sup> Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, Instituto de Meteorología

### RESUMEN

El presente trabajo constituye uno de los principales resultados del Proyecto Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados, en los Macizos Montañosos de Guamuhaya y Guaniguanico, perteneciente al Programa Nacional "Desarrollo Sostenible de la Montaña". Se presenta la utilización de un conjunto de mapas temáticos que caracterizan los antecedentes de escenarios de peligros por inundaciones, la geología, la geofísica, la sismología, la geomorfología, los suelos, así como las instalaciones críticas, líneas vitales entre otros. Se elaboraron además un conjunto de mapas de carácter meteorológico que incluyeron un estudio de algunas variables meteorológicas extremas (incluyeron por primera vez más de 50 pluviómetros en la montaña y premontaña), que fueron utilizados de manera integrada con los demás para la identificación y estimación de los peligros por deslizamientos de tierra e inundaciones por fenómenos hidrometeorológicos extremos. Para la determinación de los escenarios de peligros, así como el cálculo de la vulnerabilidad de los bienes expuestos, se utilizó una plataforma de Sistema de Información Geográfica, con el cual se transformaron y combinaron las diferentes informaciones elaboradas a partir del álgebra de mapas.

Como novedad se presenta una metodología para la estimación de los escenarios de peligros por deslizamientos que incluye un peligro combinado, teniendo en cuenta en el factor disparador sismológico el sismo de mayor magnitud ocurrido y del sismo máximo posible según la categoría de la zona sismogénica y en el caso de las inundaciones se incluyó en el factor disparador por lluvias y factor de susceptibilidad a la humedad de los suelos, un factor catalizador por las escorrentías de los ríos, las que son considerables en las zonas montañosas.

### ABSTRACT

The present paper constitutes one of the main results of the Project of the Geologist-geophysical Zonation Risk and Technological risks associates, in the Guamuhaya and Guaniguanico Mountains, belonging to the National Program "Sustainable Development of the Mountain"

The use of a group of thematic maps is presented that characterize the antecedents of hazard scenarios for floods, the geology, the geophysics, the seismology, the geomorphology, the soils, as well as the critical facilities, vital lines among others. Also was elaborated a group of maps of meteorological character that included a study of some extreme meteorological variables (its includes for the first time more than 50 meter of rains in the mountain and pre-mountain) that were used in way integrated with the other ones for the identification and estimate of the landslides hazard and floods for extreme hydro-

meteorological phenomenon's. For the determination of the hazard scenarios, as well as the calculation of the vulnerability of the exposed materials resources, a platform of Geographical Information System was used, with which transformed and its combined the different information's elaborated starting from the maps algebra.

As novel a methodology is presented for the estimate of the hazard scenarios by landslides that it includes a combine hazard, taken into account in the seismological trigger factor, the earthquake of the higher magnitude happen and of the possible maximum earthquake according to the category of the seismogenic zone and in the case of the floods it was included in the trigger factor by rains and susceptibility factor of to the humidity of the soils, a catalytic factor for the over flow of the rivers, those that are considerable in the mountainous areas.

## INTRODUCCIÓN

La protección a la población e infraestructura socioeconómica de los desastres de origen natural, o inducidos, es un importante elemento a tener en cuenta, para lograr un desarrollo económico y social sostenible en cualquier sociedad. No considerar los niveles de peligro, la vulnerabilidad a estos peligros, que puedan presentar la infraestructura social y económica, y los riesgos que ellos puedan generar, dan lugar en ocasiones a grandes pérdidas económicas y lo más importante, pérdidas de vidas humanas.

La identificación y zonación de los escenarios de ocurrencia de los peligros geólogo-geofísicos en el macizo montañoso de Guamuhaya es uno de los objetivos del presente trabajo, por lo que se llevo a cabo la zonación de los espacios del territorio donde están creadas las condiciones naturales o inducidas por la susceptibilidad a ocurrencia de un fenómeno peligroso, independientemente de su probabilidad e intensidad. Ya con anterioridad, se habían compilado y confeccionado una serie de mapas temáticos, y en esta etapa correspondió el estudio de la información geológica, geofísica, geomorfológica, hidrogeológica, geográfica, sismológica y meteorológica que permitan dar una caracterización ambiental y geólogo-tectónica del territorio a partir de los geoindicadores que pueden generar desastres naturales establecidos por la Agenda 21 y otros indicadores relacionados, con el objetivo de determinar el nivel del grado de estudios geocientíficos, seleccionar los métodos de trabajo para el completamiento de esa información a escala básica. (Fundora et al., 2000). Entre esos indicadores se encuentran la sismicidad, el fallo de las pendientes (deslizamientos), red de drenaje superficial, calidad del suelo, composición litológica, relieve, nivel de las precipitaciones y la actividad tectónica, entre otros.

En el presente trabajo se presentan los mapas de escenarios de peligros (sísmico, deslizamientos, inundaciones, elaborados a partir de expresiones empíricas que relacionan los factores de susceptibilidad y disparo que pueden crear condiciones potenciales de ocurrencia de tales fenómenos. En la elaboración de estos mapas también se utilizaron las potencialidades de la plataforma ArcView V 3.2, a partir del SIG implementado para el Proyecto. Por otra aparte se determinaron las reglas de decisión.

El estudio sistemático de la Vulnerabilidad y el Riesgo, así como de sus implicaciones sociales, económicas y políticas, es relativamente reciente. Por esta razón, en la actualidad no existe un completo acuerdo sobre los conceptos principales de la temática.

Aun cuando todos estos fenómenos peligrosos pueden tener impacto en las construcciones, el medio ambiente y la sociedad, creando situaciones de desastres de mayor o menor cuantía en dependencia del nivel de vulnerabilidad existente, sus características son diferentes. Así a diferencia de los ciclones, fuertes lluvias, inundaciones y vientos, cuya trayectoria puede seguirse y por lo tanto tomar medidas preventivas de mitigación de daños, los sismos o terremotos, tienen un origen súbito y su acción pueden crear situaciones de desastres de

mayor o menor cuantía dependiendo de la Vulnerabilidad Física o Social existente y del tamaño e intensidad del sismo.

Estimar la vulnerabilidad física de los elementos en riesgo ante la acción de peligros de origen geofísico-meteorológicos (inundaciones, lluvias intensas, fuertes vientos) y geológicos (terremotos y deslizamientos) en el Macizo Guamuhaya, es otro de los objetivos alcanzado en el presente trabajo.

Para lograr este objetivo se partió de los mapas de Peligros Múltiples y las probabilidades de ocurrencia de los distintos eventos peligrosos que se obtuvieron en etapas anteriores del Proyecto.

Se lleva a cabo la caracterización de los asentamientos poblacionales atendiendo a la susceptibilidad del medio construido y sus habitantes de acuerdo con sus elementos componentes que las hacen vulnerables en diferentes grados de acuerdo con la tipología constructiva de las instalaciones, su estado técnico. Todo ello permite evaluar la vulnerabilidad partiendo del cálculo de las pérdidas o daños esperados de acuerdo con las intensidades con que se manifiestan los peligros naturales a que pueden ser sometidas aplicando diferentes métodos desarrollados por instituciones como el PREMIDES, el CENAIIS e IGA (Fundora et al., 2000).

Aprovechando las potencialidades de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con las bases de datos generadas a partir de las características antropectógenas de cada asentamiento y otras informaciones sobre las intensidades con que se manifiestan los distintos eventos peligrosos, han permitido que tanto la labor de los cálculos de la Vulnerabilidad y los Riesgos como su cartografía digital en el territorio, sea mucho más dinámica y precisa. En el presente trabajo no vamos a abordar los riesgos, pues será objeto de otro trabajo.

La obtención de mapas de Vulnerabilidad ante las inundaciones, fuertes vientos, lluvias intensas y sismos en el macizo Guamuhaya serán útiles para los decisores de los órganos de gobierno y la Defensa Civil del territorio, ya que son necesarios, los primeros, para la planificación y diseño de nuevas obras de desarrollo económico o social.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de ubicación de los trabajos



Figura 1. Área de estudio

Los trabajos tienen como área objeto de estudio, la región montañosa central del país. La misma se encuentra aproximadamente entre los 21,79° - 22,7° de Latitud Norte y los 78,79° - 80,33° de Longitud Oeste, equivalente a X=569 200 - 727 500, Y=220 000 - 319 220. Desde el punto de vista político-administrativo, la región ocupa partes de las provincias de Sancti Spiritus (42%), Villa Clara (33%), Cienfuegos (15%). En la figura 1 puede observarse la zona de los trabajos.

## MATERIALES

Para la identificación y zonación de los escenarios de ocurrencia de los peligros geológico-geofísicos en el macizo montañoso se utilizaron los mapas temáticos elaborados durante la ejecución del Proyecto y soportados todos de manera digital sobre la plataforma del SIG implementado. También se utilizaron diferentes materiales cartográficos en formato digital a escalas 1: 500 000 y 1:100 000 necesarios para caracterizar asentamientos desde el punto de vista de las amenazas o peligros que las afectan, como por ejemplo, inundaciones, fluviales o terrestres, sismos de distintas intensidades y fuertes vientos, u otros parámetros que afectan la vulnerabilidad de las instalaciones ante estos eventos, entre esos mapas que se utilizaron se encuentran: Mapa litológico (1:100 000), Modelo Digital de Elevaciones (1:50 000), Mapa de la red fluvial (1:50 000), Mapa de pendientes (1:50 000), Mapa Hipsométrico (1:50 000), Mapa de Inundaciones Potenciales, según análisis geomorfológico (1:50 000), Mapas de evaporación mensual y anual (1:50 000), Mapas de Precipitaciones Máximas en 24 horas para períodos de Recurrencia 5, 10, 15, 20, 50 y 100 años (1:50 000), Mapa Genético de Suelos (1:25 000), Mapas tectónico-estructurales sobre la base de la interpretación de materiales geofísicos (gravimétrico y geomagnético) (1:100 000), Mapa de instalaciones críticas. (1:50 000), Mapas de Isosistas (1:1 000 000).

Todos estos mapas pueden consultarse en el Sistema de Base de Datos PELIGBAS (Polo y Cuevas, 2005; Cuevas et al., 2002).

En la estimación de la vulnerabilidad física de los elementos en riesgo ante la acción de peligros de origen geofísico-meteorológicos, se partió de los mapas de Peligros Múltiples y las probabilidades de ocurrencia de los distintos eventos peligrosos que se obtuvieron, donde se concluyó que los peligros naturales que más afectaban al territorio del macizo Guamuhaya son:

- Las inundaciones terrestres y fluviales por lluvias intensas, y los fuertes vientos que tienen como fuente los fenómenos naturales de origen geofísico-meteorológicos: Ciclones Tropicales, acompañados de fuertes vientos y en ocasiones intensas lluvias. En las primeras la existencia de un relieve abrupto en prácticamente todo el territorio y de una red fluvial extensa, favorece la acumulación de las aguas y el desborde de los ríos hacia los planos de inundación y las zonas bajas en casi todos sus cursos y aguas abajo. En las segundas se identificaron varias áreas deprimidas y con posibilidades de acumulación de agua en las que la acción antrópica puede incrementar el peligro por el desarrollo de construcciones en las mismas.
- Sismos locales de Intensidad VI de la escala MSK, en Trinidad para una probabilidad anual del 0,0259 y un período de retorno de 338 años y de Intensidad V de dicha escala en Remedios, con una Probabilidad anual de ocurrencia de 0,01255 y un período de retorno de 66 años, los que se han sentido en la región con diferentes intensidades de acuerdo con los mapas de isosistas. Estos terremotos pueden incrementar sus grados base hasta  $I_{Max} = VII$  e incluso  $I_{Max} = VIII$  de la escala MSK, como evento extremo, debido a las características ingeniero-geológicas con presencia de actividad cárstica y la amenaza de la sismicidad regional.
- Las lluvias intensas, bastantes frecuentes en el macizo y los sismos, menos frecuentes, pueden desencadenar deslizamientos u otros movimientos de carácter gravitacional que pueden afectar fundamentalmente las partes central, norte y noroccidental del municipio Trinidad, el suroeste del municipio Manicaragua, la franja central del municipio Cumanayagua y algunas zonas del centro y sur del municipio de Fomento.

Estos peligros fueron representados cartográficamente en los Mapas de Peligros Múltiples de origen geofísico-meteorológicos y por sismos del macizo montañoso.



Se tomaron como punto de partida las bases de datos georeferenciados obtenidas en el proyecto elaborado por GEOCUBA 2000 (Rivero et al., 2000). Esta base de datos se desarrolló y se obtuvieron otras bases de datos georeferenciados con el auxilio de Microsoft Access y Excel, que fueron manejadas con el SIG implementado tanto para operaciones lógicas y matemáticas, como para la edición de algunos mapas.

Para estas bases de datos se actualizaron algunos campos mediante la consulta de informes del Estado mayor de la Defensa Civil, Dirección Municipal de Planificación Física de Trinidad, también se generaron otros campos mediante la superposición de diferentes capas para caracterizar el medio ambiente construido y social, como Índice de Calidad de Vivienda (Susceptibilidad Habitacional), Susceptibilidad Poblacional, Pendiente, entre otras que sirvieron para calcular las Pérdidas o daños del Medio construido.

Muy importante resultaron los trabajos desarrollados por el Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara en la evaluación de las intensas lluvias para diferentes períodos de retorno e intensidades, a través de la elaboración estadística de los registros pluviométricos en las estaciones meteorológicas de la Red Nacional del INSMET en la región y de la Red Nacional Pluviométrica de la Oficina Territorial del INRH, que permitieron construir los mapas de Isoyetas para las diferentes estaciones y anual así como calcular las lluvias intensas para distintas intensidades y períodos de recurrencia.

Algunos antecedentes que se tuvieron en cuenta fueron los trabajos desarrollados por el CENAIIS en Santiago de Cuba para la caracterización de la "Vulnerabilidad Sismicidad de la Ciudad de Stgo de Cuba" de Oliva et al. (1982), los Proyectos ejecutado por el IGA en el marco del Programa Ramal de la Agencia de Medio Ambiente "Elaboración y Validación de una metodología para los Estimados de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos y Tecnológicos Conexos en el Municipio San José de las Lajas, provincia La Habana" de Fundora et al. (2000) y "Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos, Geofísicos-meteorológicos y Tecnológicos Conexos en el municipio capitalino Playa" de Fundora et al. (2003), así como diferentes tareas de investigación que se han realizado en el CENAIIS.

En el territorio del macizo, GEOCUBA ejecutó entre el 1999 y el 2000 un proyecto de investigación del Programa Nacional de Desarrollo Sostenible de la Montaña en el que confeccionó un SIG del macizo, que sirvió de base a este proyecto (Rivero et al, 2000).

## MÉTODOS

Para la determinación de los escenarios de peligros, como se dijo anteriormente se utilizaron expresiones que relacionan tanto los factores condicionantes como los disparadores de los fenómenos peligrosos. A continuación se describen brevemente estos factores.

### Métodos para la determinación de los escenarios de peligros

#### Escenarios de peligro por deslizamiento

Para determinar los escenarios por deslizamientos fue empleada la metodología desarrollada por Mora y Vahrson (1988), a la cual se le modificaron algunos de sus parámetros, con el objetivo de adaptarla a las condiciones geológicas y climatológicas de nuestro país, y en especial en correspondencia con la zona montañosa donde se aplicó en nuestro caso, la misma plantea que los deslizamientos ocurren cuando los factores de disparo (terremotos y precipitaciones) rompen el equilibrio a que están sometidos los factores de susceptibilidad (litología, humedad y relieve). Por lo que la amenaza estaría expresada en función de los factores de susceptibilidad y los factores de disparo, mientras que los escenarios



quedarían expresados en función de los factores de susceptibilidad, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$S_d = F_l * F_r * F_w \quad (1)$$

Donde:

**F<sub>l</sub>**: Factor de Susceptibilidad Litológica ó Factor Litológico

**F<sub>r</sub>**: Factor de Susceptibilidad por Relieve

**F<sub>w</sub>**: Factor de Susceptibilidad por Humedad

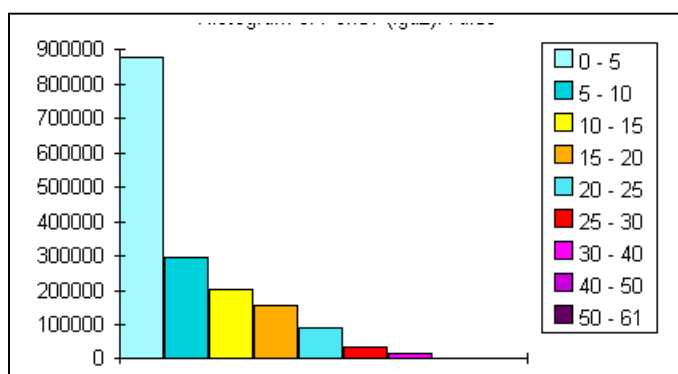


Figura 2. Histograma de las pendientes (°) de la zona de estudio.

El factor del relieve fue estimado a través del comportamiento de las pendientes del terreno expresadas en grados. Por ser esta un área fundamentalmente de montaña, las pendientes llegan incluso hasta los 60°, lo que hace a este factor bastante influyente en la determinación de la susceptibilidad al deslizamiento. En la figura 2 se puede apreciar el histograma que describe una distribución log-normal de las pendientes en la zona.

suelos (**K<sub>s</sub>**), según el agrupamiento de los mismos y los valores máximos mensuales de las precipitaciones (**LI**) en más de 50 pluviómetros (incluyendo las seis estaciones meteorológicas y las estaciones de expedición en la zona montañosa) ubicadas en la región de estudio y sus alrededores. El análisis estadístico de los datos de precipitaciones mensuales en la zona de estudio permiten la clasificación que se muestra en la Tabla 1. Quedando expresado de la siguiente forma:

$$F_w = LI / K_s \quad (2)$$

Teniendo en cuenta las condiciones climatológicas de la región de estudio se modificó la ecuación 2, afectando negativamente a los valores máximos mensuales de precipitaciones (**LI**) con la evaporación media mensual, mapa que se obtuvo para toda la zona, por lo que la ecuación 2 modificada quedaría como sigue:

$$F_{wm} = (LI - Emm) / K_s \quad (3)$$

Donde:

**Emm** – Evaporación media mensual

Tabla 1. Clasificación del parámetro lluvias máximas mensuales

LI-Emm (mm)	Calificativo	Valor
<0	Muy Bajo	0
0-50	Bajo	1
50-100	Moderado	2
100-150	Medio	3
150-200	Alto	4
200-250	Muy Alto	5

Por otra parte, teniendo en cuenta que en la zona montañosa cuando ocurren las lluvias en las partes más altas, existe un fenómeno de escorrentía a través de la red fluvial hacia los lugares más bajos, si en estos lugares son posibles inundaciones, entonces el factor de las lluvias (**LI**) se vería afectado de una manera positiva, lo que implica que habría un incremento de este parámetro, esto es lo que ocurre en la práctica cuando llueve en la montaña y en el llano se acumulan las aguas en los valles de inundaciones. Para el caso del área de estudio se hizo un estudio geomorfológico donde se determinaron estos planos y se tuvo en cuenta además la intensidad de la lluvia (**LI**). Posteriormente este factor catalizador de escorrentía (**Fce**) se le adicionó utilizando el álgebra de mapas en el SIG. De manera simbólica esta operación pudiera expresarse como:

$$Fw_{me} = \max[(LI-Emm) \text{ y } Fce] / K_s \quad (4)$$

Donde:

**Fce** :- factor de escorrentía, se utiliza la misma clasificación de la Tabla 1.

Además se utiliza el "Terrain Aspect" (Surfer v 8.0) del modelo digital de elevaciones (MDE) y hallar las direcciones de escurrimiento, lo que facilita clasificar las zonas de los valles de inundación, con los valores del **Fce**.

En la figura 3, se puede apreciar la distribución en la zona de los valles de inundaciones determinados por el análisis geomorfológico. Esta es una modificación a la metodología que

puede resultar novedosa, y se podrá apreciar mejor en el análisis de los factores disparadores por lluvia.

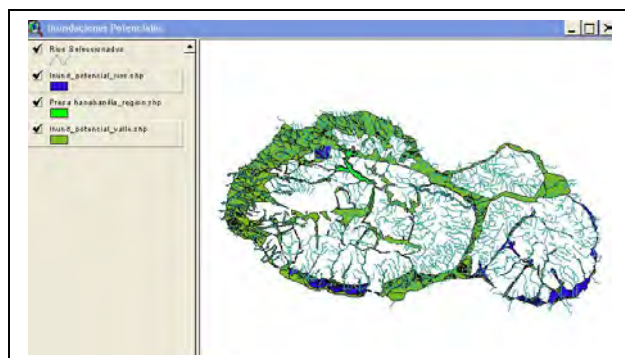


Figura 3. Planos de inundaciones de valle (verde) y de ríos (azul), determinados por análisis geomorfológico. Vista de la pantalla del SIG.

En el caso de la permeabilidad de los suelos (**Ks**), los datos de las propiedades físicas de los mismos indican que los más capaces de retener la humedad son los Ferralítico – Húmico Sialítico - Pardo Sialítico - Fersialítico - Alítico y los menos susceptibles a retener la humedad los Poco evolucionados, por lo que se pueden categorizar como aparecen en la Tabla 2.

En la Tabla 3 se muestra la categorización del factor de humedad de los suelos (**Fw<sub>me</sub>**) en seis niveles, según la expresión (3).

El Factor de Susceptibilidad Litológica (**FI**) se calculó a partir de la combinación de los parámetros litoestratigráfico y genéticos de las

rocas y suelos como son: 1) posibilidad al deslizamiento de los suelos según el agrupamiento genético ( $P_s$ ) y 2) las características litológicas, texturales e ingeniero-geológicas de las formaciones y grupos ingeniero-geológicos presentes ( $P_g$ ) en el área de estudio. El factor de susceptibilidad litológica quedaría expresado como:

$$F_1 = P_s * P_g \quad (5)$$

Donde:

$P_s$  .- Susceptibilidad al deslizamiento según el grupo genético de los suelos

$P_g$  .- Susceptibilidad al deslizamiento según la litología

Tabla 2. Clasificación del parámetro permeabilidad de los suelos ( $K_s$ )

$K_s$ - Permeabilidad Suelos	Valor	Calificativo
Poco Evolucionados	3	Alto
Fluviosol	2	Medio
Ferralítico - Humico Sialítico - Pardo Sialítico - Fersialítico - Alítico	1	Bajo

Tabla 3 Clasificación del factor de humedad

Calificativo	$Fw_m$ - Factor Susp. Humedad				Valor
Muy Alto	>	4.00	=	5.00	6
Alto	>	3.00	=	4.00	5
Medio	>	2.00	=	3.00	4
Moderado	>	1.00	=	2.00	3
Bajo	>	0.00	=	1.00	2
Muy Bajo	=	0.00	=	0.00	1

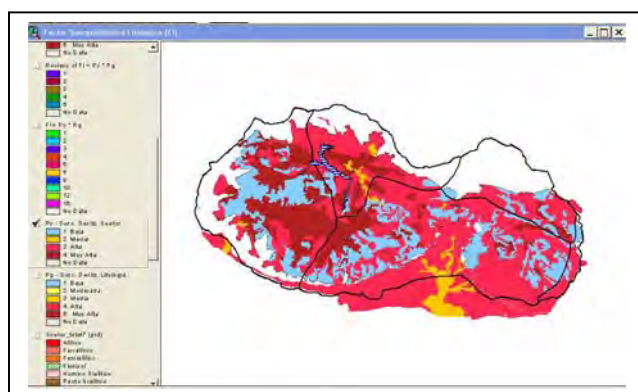


Figura 4.  $P_s$  – Susceptibilidad al deslizamiento según el grupo genético de los suelos. Vista de una pantalla en el SIG implementado para el Proyecto.

En la región los suelos de mayor susceptibilidad al deslizamiento son los ferralíticos-alíticos que se encuentran distribuidos en la zona donde los valores hipsométricos se consideran altos, potenciando de esta manera el peligro por deslizamiento (Figura 4)

En el caso de la susceptibilidad por la litología, en la zona de estudio las rocas areno-arcillosas son las de más factibilidad para la ocurrencia de los deslizamientos, este factor puede observarse en la figura 5.

En las Tablas 4 y 5 se categorizan según la susceptibilidad al deslizamiento las rocas, según sus litologías y los suelos, por su grupo genético, presentes en el

área.

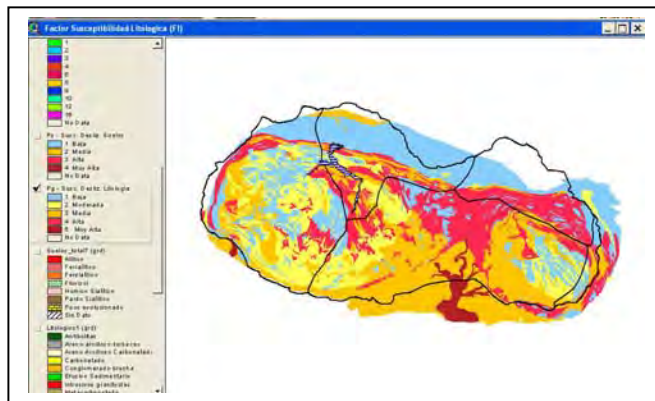


Figura 5. Pg – Susceptibilidad al deslizamiento, según la litología. Vista de una pantalla en el SIG implementado para el Proyecto.

Utilizando la expresión 5 se obtiene el factor litológico ( $F_l$ ). La categorización de este factor por los valores obtenidos se muestra en la Tabla 6.

El Factor de Susceptibilidad por Relieve ( $F_r$ ), que está involucrado en la ecuación 1, no es más que la pendiente, expresada en grados. Para el cálculo de la pendiente se utiliza la siguiente expresión:

$$F_r = \arctan(DV/DH) \quad (6)$$

Donde: DV – Distancia vertical (m)

DH - Distancia horizontal (m)

De manera similar, al procedimiento anterior se categorizar las pendientes,

para poder proceder al álgebra de mapas de manera codificada.

Con la combinación de todos los factores de susceptibilidad, según la ecuación 1, fue posible obtener susceptibilidad al deslizamiento (figura 6).

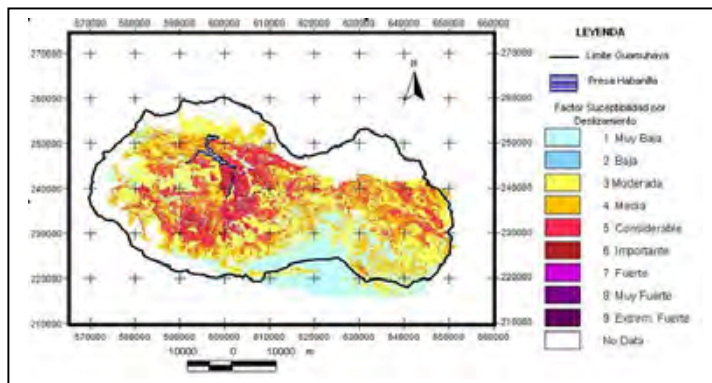


Figura 6. Factor de susceptibilidad al deslizamiento. Salida cartográfica del SIG.

Finalmente el escenario de peligro está condicionado por los factores de disparos, que en este caso lo constituyen los sismos y las lluvias intensas en 24 horas, por lo que la expresión (1) para el cálculo del mismo queda como:

$$P_{sd} = S_d * (F_{II} + F_s) \quad (7)$$

Donde:

$F_s$ .- Factor disparador sismológico

$F_{II}$ .- Factor disparador de lluvias

Tabla 4. Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento, según la litología

Pg - Susc. Desliz. Litología	Valor	Calificativo
Intrusivos granitoides - Anfibolitas - Metamórfico	1	Bajo
Efusivo Sedimentarios - Sedimentario - Metacarbonatados - Ofiolitas-ultrabasitas	2	Moderado
Areno arcillosos carbonatados - carbonatados - metavulcanógeno carbonatado	3	Medio
Conglomerado brechas - Metaterrígeno	4	Alto
Areno arcilloso turbaceo	5	Muy Alto

Tabla 5. Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento de los suelos según su grupo genético

Ps - Susc. Desliz. Suelos	Valor	Calificativo
Ferralítico - Alítico	4	Muy Alto
Humico Sialítico - Pardo Sialítico - Fersialítico	3	Alto
Fluviosol	2	Medio
Poco Evolucionados	1	Bajo

Tabla 6. Clasificación del Factor Litológico

Calificativo	FI - Factor Litológico				Valor
Muy Alto	=	12,00	<=	20,00	5
Alto	=	6,00	<	12,00	4
Medio	=	4,00	<	6,00	3
Moderado	=	2,00	<	4,00	2
Bajo	=	1,00	<	2,00	1

### **Fs. Factor disparador sísmico**

Para una cuantificación más detallada de este factor se estiman dos subfactores, uno relacionado con la sismicidad regional (terremoto ocurrido en las zonas lejana al área de estudio que la han afectado) y el otro relacionado con la sismicidad local (terremotos ocurridos en las zonas cercanas al área de estudio y dentro de ella), como es el caso terremoto Trinidad del 30 de julio de 1943 ( $M=4,5$ ;  $I_m=6,0$  MSK). Para esto se calculan los mapas de isosistas de los terremotos de manera integrada y se calcula en cada cuadrícula el valor máximo de intensidad. Estos resultados se combinan con la humedad y potencia de los suelos, elementos determinantes en el patrón de atenuación y/o amplificación de las intensidades provocadas por los terremotos. Los subfactores de sismicidad regional ( $f_{SR}$ ) y local ( $f_{SL}$ ) quedan expresados en la siguiente forma:

$$f_{SR} = I_{mr} / E * H \quad (8)$$

$$f_{SL} = I_{ml} / E * H \quad (9)$$

El factor disparador sismológico ( $F_S$ ), se obtiene por:

$$F_S = \max (f_{SR} \text{ y } f_{SL}) \quad (10)$$

Finalmente la expresión queda como sigue:

$$F_s = \max(I_{mr} \text{ y } I_{ml}) / E * H \quad (11)$$

Donde:

$I_{mr}$ .- Intensidad máxima de los terremotos lejanos

$I_{ml}$ .- Intensidad máxima de los terremotos cercanos

E.- Parámetro cualitativo de profundidad según el grupo de suelo

H.- Parámetro cualitativo de humedad según el grupo de suelo

Los mapas de suelos por grupo genético y de su erosión actual en la región permiten establecer tres grupos de suelos según su profundidad, al igual que para la humedad. Un mayor detalle sobre la categorización puede encontrarse en Cuevas et al. (2004).

Los datos sismológicos indican que las intensidades máximas sentidas en la zona de estudio debido a terremotos regionales han estado entre IV-V (MSK), mientras que el terremoto local se han sentido entre V-VI. De acuerdo a los cálculos realizados en la investigación se pueden esperar terremotos con intensidades máximas de VII - VIII en la zona de estudio. Es por ello que teniendo en cuenta esta situación y además que la escala de categorización permita tener en cuenta los demás sistemas montañosos del país (ej. Sierra Maestra), donde las intensidades podrían ser mayores y así poder tener una clasificación general que sirva para la comparación, se categorizó de la forma en que se muestra en la Tabla 7 y de esta manera también está en correspondencia con los niveles internacionales (TCA,1993).

Tabla 7. Clasificación del Factor sismológico

Calificativo	Fs - max(Isr y Isl) / E*H (MSK)				Valor
<b>Extrem. Fuerte</b>	=	11.01	=	12	<b>9</b>
<b>Muy Fuerte</b>	=	10.01	=	11.00	<b>8</b>
<b>Fuerte</b>	=	9.01	=	10.00	<b>7</b>
<b>Muy Alto</b>	=	8.01	=	9.00	<b>6</b>
<b>Alto</b>	=	7.01	=	8.00	<b>5</b>
<b>Medio</b>	=	6.01	=	7.00	<b>4</b>
<b>Moderado</b>	=	5.01	=	6.00	<b>3</b>
<b>Bajo</b>	=	4.01	=	5.00	<b>2</b>
<b>Muy Bajo</b>	=	0.00	=	4.00	<b>1</b>

### **FII. Factor disparador lluvia**

Este factor se estima a partir de los datos mensuales de lluvias máximas en 24 horas registrados en las estaciones y pluviómetros (50) que están en la zona de estudio y sus alrededores. Con los datos de más de 10 años se estimó este factor hasta un período de recurrencia de 100 años. En la Tabla 8 se resume la clasificación para este importante factor. Entonces una vez que se tienen todos los factores de susceptibilidad y de disparo definidos y categorizados, entonces aplicando la regla de decisión (7), se obtienen los valores que caracterizan la potencialidad del peligro por deslizamientos con su categorización (Cuevas et al., 2004).



Tabla 8. Clasificación del factor disparador lluvias

FII - Factor Disp. Lluvias 24 h (mm)	Valor	Calificativo
>875	8	Extrem. Fuerte
750-875	7	Muy Fuerte
625-750	6	Fuerte
500-625	5	Muy Alto
425-500	4	Alto
300-425	3	Medio
175-300	2	Bajo
<175	1	Muy Bajo

### Escenarios de peligro sísmico

El proceso de determinación de los escenarios de peligro sísmico involucran a varios factores. En primer término es necesario conocer donde ocurren los terremotos, así como la forma en que se manifiestan a diferentes distancias del foco o hipocentro.

Para llevar a cabo este trabajo se hace necesario realizar un estudio detallado de toda la información sísmológica tanto de carácter regional como de carácter local publicada por los órganos o instituciones especializadas en esta materia (en Cuba el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas – CENAI). Un análisis detallado y resumido para el área de estudio fue realizado por Cuevas et al. (2004).

Sismológicas – CENAI). Un análisis detallado y resumido para el área de estudio fue realizado por Cuevas et al. (2004).

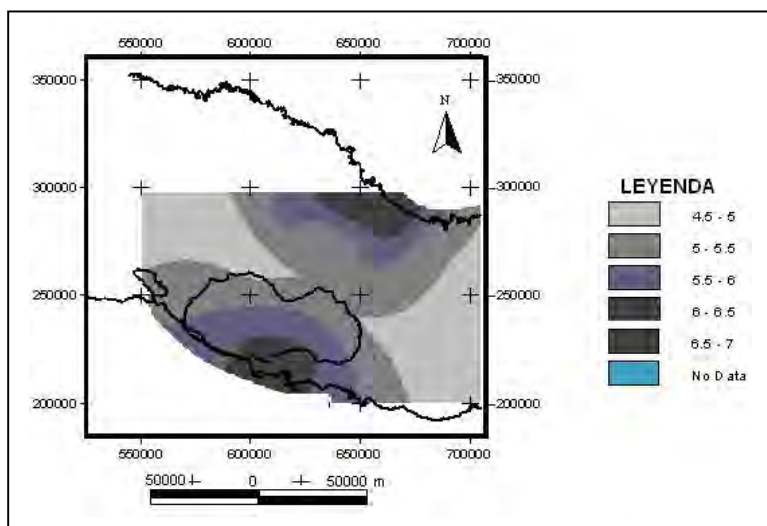


Figura 7. Mapa de isosistas de los terremotos de Remedios [15 de agosto de 1939, en la zona de Remedios - Caibarién con valores de  $M=5,6$ ;  $I_m=7,0$  (MSK), zona norte de Cuba] y Trinidad (30 de julio de 1943,  $M=4,5$ ;  $I_m=6,0$  (MSK), zona sur de Cuba).

Para el análisis del segundo factor (efecto de los terremotos a diferentes distancias), se ha estudiado ampliamente en el país para el caso de las intensidades sísmicas. Alvarez et al. (1991) y Chuy (2000) han propuesto un modelo de isosistas elípticas para caracterizar el campo macrosísmico.

Según varios estudios realizados y que han sido tratados con anterioridad, en la zona de estudio se pueden establecer que las mayores intensidades que han provocado los eventos y el posible rango de magnitudes en el área: indican que las intensidades máximas sentidas en la zona de estudio

debido a terremotos regionales han estado entre IV-V (MSK), mientras que el terremoto local se han sentido entre V-VI. De acuerdo a los cálculos realizados en la presente investigación, teniendo en cuenta un terremoto que ocurra en la zona sismogeneradora Sur Cubana ( $M_{max} = 6,5$ ) y en La Trocha ( $M_{max} = 6,0$ ) se pueden esperar terremotos con intensidades máximas de VII - VIII en la zona de estudio (figuras 7 y 8).

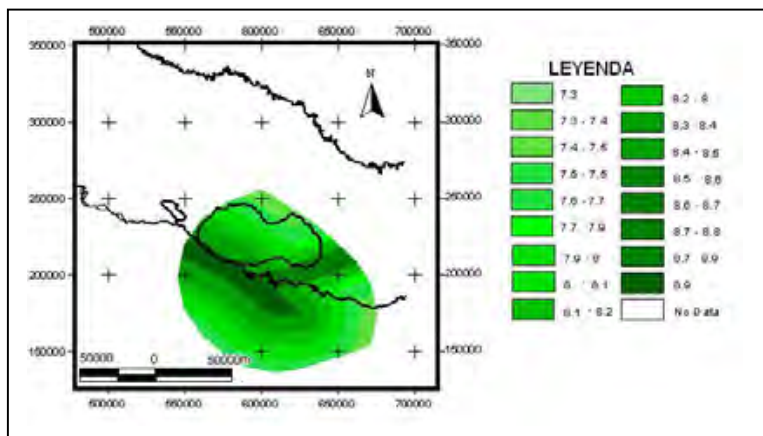


Figura 8. Modelo de isosistas de los terremotos máximos calculados, para la zonas sismogeneradoras Sur Cubana (al sur de la zona de estudio, en las acuatorias, orientación NW-SE) y La Trocha (orientación SW-NE)

Este modelo de isosistas (figura 7), para la posible ocurrencia de terremotos máximos calculados, para las dos zonas sismogeneradoras de mayor potencialidad en magnitud, fue introducido como una modificación metodológica, en el factor disparador sismológico, resultando una novedad, en este tipo de análisis.

### Escenarios de peligro inundaciones

Para que existan inundaciones en determinadas zonas es necesario que primero esté el factor externo que constituyen

las lluvias, en segundo término que el MDE exprese la morfología adecuada para que la acumulación de grandes volúmenes de agua sea factible y en tercer lugar que las rocas y el suelo tengan la capacidad suficiente para retener el volumen hídrico. Con estas condiciones se puede formular que una valoración del potencial de peligro por inundaciones  $P_1$  puede ser expresado como:

$$P_1 = F_{hi} * F_w * F_{II} \quad (12)$$

Donde:

**F<sub>hi</sub>** .- factor de susceptibilidad hídrico, que depende de la curvatura tangencial del MDE y de la pendiente del mismo.

**F<sub>w</sub>** .- factor de susceptibilidad de humedad dado por el nivel de retención de las aguas en el suelo y estimado según el grupo genético de suelo (Tabla 3)

**F<sub>II</sub>** .- Factor de disparo, dado por el nivel de las precipitaciones máximas en 24 horas

#### Factor Hídrico (activo)

Como se dijo anteriormente para que exista un potencial hídrico subterráneo, primero deben de ocurrir acumulaciones de agua y segundo que su escurrimiento sea lento. Estas condiciones se pueden analizar a través del MDE al que se le calculan las pendientes y la curvatura tangencia (CT), para lo que se puede utilizar software especializado, como es sabido las p[endientes bajas condicionan un escurrimiento lento del drenaje superficial, mientras que los valores más positivos de la CT significa que existe convergencia en la dirección de acumulación de las aguas superficiales. Siendo el factor hídrico directamente proporcional a la cantidad de agua acumulada e inversamente proporcional a la pendiente del terreno, entonces este factor se puede expresar como sigue:

$$F_{hi} = CT / P \quad (13)$$

Donde:

**CT** – es el valor de la convergencia o divergencia de las ondulaciones del terreno, referido a un plano horizontal

**P** – pendiente

Para el cálculo de este factor a partir de la expresión (13), se puede utilizar el cálculo de la pendiente y su categorización anteriormente explicada, así como los valores asignados al factor de la curva tangencial que fueron 3 a las zonas de convergencia y 1 para el caso contrario.

Teniendo en cuenta la metodología antes planteada, así como sus modificaciones, para el caso de las zonas montañosas, en lo referente a la escorrentía de los ríos, así como la introducción en el factor sismológico disparador del efecto del terremoto máximo posible y utilizando las bondades del SIG implementado, para el procesamiento complejo de la información digital, con procedimientos propios del álgebra de mapas, se estimaron los escenarios de peligros para cada uno de los fenómenos estudiados que pueden provocar desastres naturales en la zona de estudio.

### **Métodos para la determinación de las vulnerabilidades.**

Para la obtención de los mapas de riesgos por inundaciones, sismos y deslizamientos, a partir de la confección, es necesario primero la obtención de los mapas de vulnerabilidad ante los distintos eventos peligrosos, partiendo del análisis temporal previo del factor o factores de disparo desencadenantes de cada uno de estos fenómenos y de la estimación de los costos de los bienes expuestos. En el presente trabajo no se abordará propiamente el estudio de los riesgos para la zona de estudio, pues será objeto de otro trabajo, por lo que aquí se limitará al análisis de la vulnerabilidad.

Los métodos utilizados van desde la compilación y evaluación bibliográfica, trabajo de gabinete para la elaboración estadística de los registros históricos meteorológicos y sismológicos y estimaciones de los períodos de retorno para cada evento, utilizando diferentes métodos según la experiencia internacional de los centros rectores en materia meteorológica y sismológica, hasta el geoprocésamiento cartográfico para la preparación y edición de mapas temáticos del medio físico, los mapas de vulnerabilidad de las instalaciones ante fenómenos peligrosos que se estudiaron anteriormente, desde el punto de vista metodológico, aprovechando las bondades del SIG.

Las matrices vulnerabilidad se evaluaron a partir de los daños esperados ante eventos de diferente intensidad tomando en cuenta la experiencia nacional e internacional, según la tipología de las construcciones y su estado técnico (Hirschberg et al., 1978).

En este trabajo se utilizaron las bases metodológicas de la estimación de la vulnerabilidad introducidos por Fundora et al. (2000; 2003).

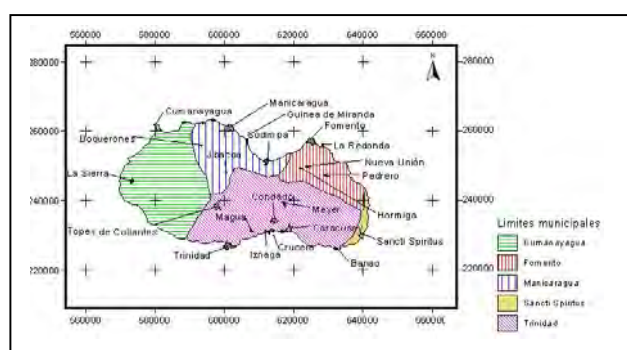


Figura 9. Mapa de ubicación de los límites municipales en la zona de estudio

se calcularon los diferentes peligros teniendo en cuenta el factor disparador por lluvias **FII** para los tiempos de recurrencia de T=5, 10, 15, 20, 50 y 100 años, es así que haciendo un análisis

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Peligro por inundaciones**

A partir del análisis por las diferentes capas rasters a partir de la expresión 12

comparativo para 5,10 y 50, que serán los mismos en que se analizarán las vulnerabilidades más adelante. Tenemos que las mayores afectaciones por este concepto se encuentran en el Municipio **Trinidad** (figura 9, área sombreada de color magenta) y **Cumanayagua** (figura 9, área sombreada de color verde) el primero con 33 asentamientos y el segundo con 22 que están situados en la zonas en que las inundaciones pueden tener intensidades altas (CONSIDERABLES e IMPORTANTES: colores rojos – figura 10). En la figura 10 se ven estas zonas de peligro. En

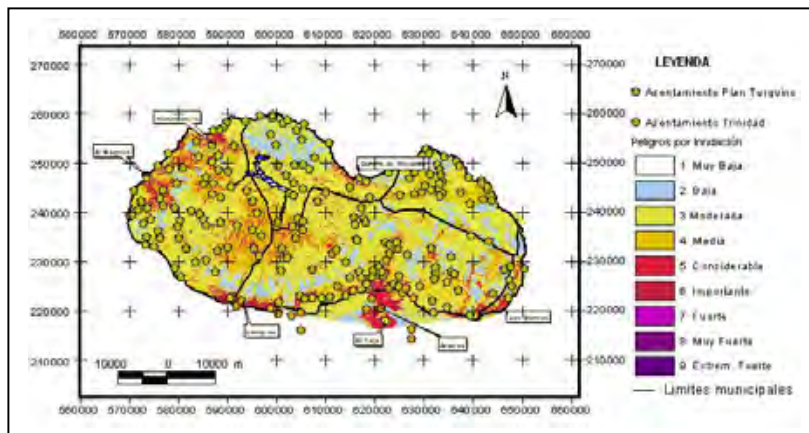


Figura 10. Mapa de Peligro de Inundaciones para un período de recurrencia  $T = 5$  años

general de los 196 asentamientos que están situados en la zona de estudio 59 están en zonas de peligro para un tiempo de recurrencia de 5 años. En los Municipios de **Manicaragua** (figura 9, área sombreada de líneas verticales de color azul) solo caen 3 (Boquerones, Kan Kan y Tres Palmas, este último a 3,3 km al sureste del inicio sur de la presa Habanilla), en **Sancti Spiritus** (figura 9, área sombreada de color amarillo) el asentamiento afectado es Las Damas, y en **Fomento** (figura 9, área sombreada de color rojo), Santa Rosa.

Entre los 22 asentamientos afectados con peligro de inundación en el Municipio de **Cumanayagua** hay tres de ellos que están en una zona de peligro IMPORTANTE (425-500 mm): El Brazo, El Junco y El Negrito, el resto con intensidad CONSIDERABLE (500-625 mm) están Aguacate, Ballesteros Buena Vista, Cabagán Centro Cubano, Cuevitas, Charco Azul Abajo, El Naranjal, El Sopapo, Hanabanilla, La Sierrita, Mayán, Melcón, Palmarito, Rancho Capitana, Río Hondo, San José, San Juan y San Narciso.

Algo interesante y que estando en los límites del área de estudio, pero propiamente no en la zona de montaña está el **Valle de Agabama**, en el Municipio de **Trinidad** donde según los datos de la Defensa Civil Municipal, ha habido fuertes inundaciones, pues bien nuestros cálculos del peligro por este fenómeno arrojó que en esta zona hay 10 asentamientos que pueden estar afectados por este fenómeno entre los que se encuentra: La Paloma, El Taje, Aracas, Fidel Claro, La Escofina, Bijalbo, Caimito, Río de Ay y Caracusey.

Cuando se analizó el mapa de peligro de las inundaciones para un tiempo de recurrencia de  $T=10$  años, se observó, que para el Municipio **Cumanayagua** hubo un aumento de 10 asentamientos que se sitúan en zona de peligro, ellos son: Ayuales, Caleta de Muñoz, Camilo Cienfuegos, El Cafetal, El Colgado, El Nicho, Guajimico, Hoyo de Padilla y Las Moscas, o sea que existen 32 asentamientos en este Municipio que pueden ser afectados por las inundaciones altas.

Para este mismo período de recurrencia o retorno en el Municipio **Manicaragua** solo aumenta en un asentamiento el afectado, pero hay tres que están en zona de peligro IMPORTANTE, aguas debajo de la presa Hanabanilla, ellos son Boquerones, Veguitas y Rincón del Naranjo. Esta zona ha sido reportada por la Defensa Civil y está en los antecedentes a la ocurrencia de este fenómeno, en el mapa de peligro se puede apreciar que esta zona está conectada desde el



punto de vista de los lugares proclives a tener interconexión desde la presa, aspecto este que hay que estar atentos a la ocurrencia de este fenómeno.

En el Municipio **Sancti Spiritus**, se suma un asentamiento a las posibles inundaciones que pueden afectar además de a las Damas a Jarico.

**Trinidad** se mantiene en similar situación pues de 33 asentamientos afectados, solo aumentó en uno, para la zona de peligro. En el Municipio **Fomento** hay 5 asentamientos que caen en el área de peligro CONSIDERABLE cinco, entre los que está Santa Rosa y Mota.

Un análisis del mapa de peligro por inundaciones para un tiempo de retorno de  $T=50$  años (figura 11), puede apreciarse que las zonas de peligro incrementan su intensidad hasta FUERTE (625-750 mm). Aquí ocurre que en el Municipio

**Cumanayagua**, llega a tener en zona de peligro hasta 39 asentamientos, de ellos 11 dentro de la zona de intensidad FUERTE, entre los que se encuentran: El Brazo, El Junco, El Negrito, Río Hondo, San Narciso, Hanabanilla, Cien Rosas, Centro Cubano, Ballesteros, Cabagán y La Sierrita. **Manicaragua**, de 4 asentamientos en zona de peligro subió a 11 con 2 con intensidad FUERTE: La Presa y Eucalipto. En el caso de Sacti Spiritus no hubo aumento (sólo 2 asentamientos).

El Municipio **Trinidad**, se conforma como el más afectado pues tiene 54 asentamientos en zona de peligro de inundaciones con 5 en con intensidad FUERTE: Lampiño, La Paloma (en Alabama), Tres Palmas Dos, Río Canas y El Oro (en Alabama). En esta misma zona del Alabama 4 asentamientos se encuentran en zona peligrosa: Crucero Ban, El Taje, Fidel Claro y Magua.

En **Fomento** de 5 asentamientos afectados para un  $T=10$  años, hubo un aumento significativo hasta 22 asentamientos. Un resumen de esta información puede verse en la Tabla 9.

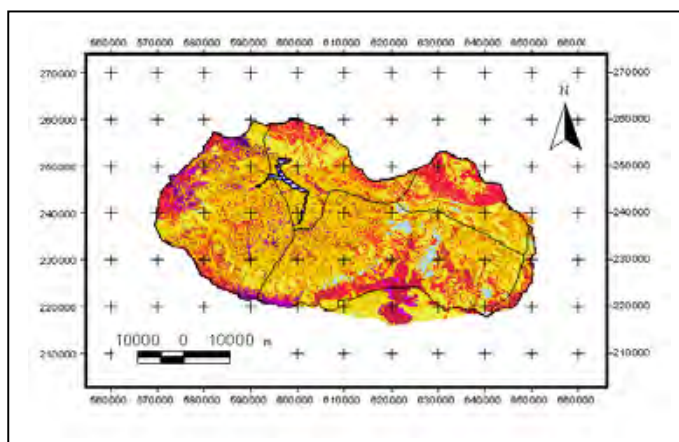


Figura 11. Mapa de peligro por inundación para  $T=50$  años.  
Leyenda en figura 9.

Tabla 9. Cantidad de asentamientos afectados por peligro de inundaciones, para tiempos de recurrencia de 5, 10 y 50 años

MUNICIPIO	T5	T10	T50
-----------	----	-----	-----

	In. ALTA	In. ALTA	In. ALTA	In. MUY ALTA	TOTAL
Cumanayagua	22	32	28	11	39
Manicaragua	3	4	9	2	11
S. Spiritus	1	2	2	0	2
Trinidad	33	34	49	5	54
Fomento	1	5	22	0	22
<b>TOTAL</b>	<b>59</b>	<b>77</b>	<b>110</b>	<b>18</b>	<b>128</b>

In. ALTA: Considera las inundaciones con intensidades de CONSIDERABLE e IMPORTANTE

In. MUY ALTA: considera las inundaciones con intensidades de FUERTE

### Peligro por deslizamientos

En el caso de los mapas de peligro por deslizamiento, también se calcularon para los tiempos de recurrencia de 5, 10, 15, 20, 50 y 100 años, teniendo en cuenta el factor disparador de lluvias y el sismológico. En este caso se aplicó la metodología descrita en este trabajo, pero en el caso del factor sismológico, se calcularon mapas teniendo en cuenta el terremoto máximo ocurrido  $I_{max} = VI$  (MSK), incluyéndose también en este mismo factor para el terremoto máximo esperado  $I_{max} = VIII$  (MSK), aunque la probabilidad de ocurrencia es muy baja (0,00003), pero de ocurrir afectaría a toda la zona, es por ello que sólo hemos considerado para presentar el

mapa de peligro por deslizamiento para un tiempo de recurrencia de 50 años, que coincide con la vida útil promedio de las instalaciones.

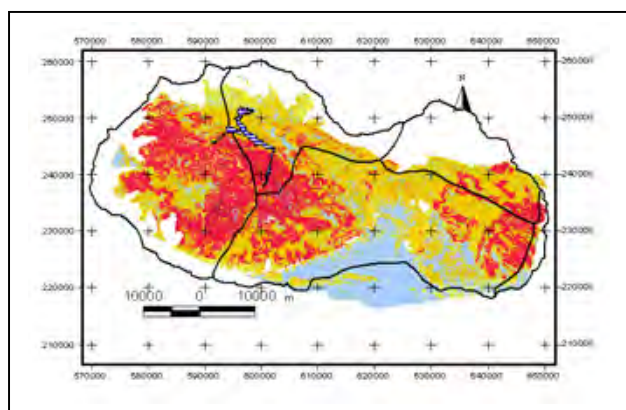


Figura 12. Mapa con peligro por Deslizamiento para T=50 años

En la figura 12 se presenta el mapa de peligros por deslizamientos donde puede apreciarse que las mayores afectaciones se encuentran en el Municipio **Cumanayagua** y **Trinidad**, una pequeña parte en el municipio de **Manicaragua**, en lo que respecta a área de ocupación, si se hace un análisis de los asentamientos potencialmente afectados por este fenómeno tenemos que en **Cumanayagua** hay 12 asentamientos donde este fenómeno está presente: Ayuales, Ballesteros Buenavista,

Cabangancito, Cimarrones, Cuatro Vientos, Cuevitas, El Mamey, El Mamoncillo, El Nicho, Las Lagunitas y Veguetas.

El municipio de **Trinidad** es afectado en 4 asentamientos, entre los que se encuentra Topes de Collantes, Mangos Pelones, La Felicia y Palo Viejo.

El municipio de **Manicaragua** está afectado solamente en dos asentamientos: Tres Palmas y Guanayara.



El análisis de los mapas de peligros para este fenómeno brinda información además de los asentamientos afectados, las áreas dentro del macizo, donde para un desarrollo posterior de nuevas instalaciones debe de tenerse en cuenta estas zonas como peligrosas, y en los casos que sea necesario tomar las medidas pertinentes en la etapa de diseño, como ya se ha explicado anteriormente, que por el desconocimiento de estos factores o no tenerlos en cuenta debidamente, puedan ocurrir después de construidas las instalaciones, desastres y pérdidas económicas y/o sociales.

En el capítulo siguiente se hará un análisis de la vulnerabilidad y los riesgos en la zonas donde se tienen los datos e informaciones necesarias para poder efectuar dicho análisis. Y que no es en toda la zona.

### Peligro por lluvias intensas

La caracterización climatológica de la región de estudio realizada durante el trabajo (Cuevas et al., 2004), quedó demostrado que de mantenerse la tendencia se tendría un aumento de 10 mm de lluvias en los próximos 10 años, que es bastante considerable, esto traería como consecuencia un aumento en el acumulado, pero sobretodo en la intensidad de las lluvias lo que redundaría en un aumento de los fenómenos extremos, como pudiera ser la lluvia máxima en 24 horas, inundaciones y aumento de la erosión del terreno.

En este caso se calcularon los mapas de lluvias en 24 horas para diferentes períodos de recurrencia, que fueron utilizados como factores disparadores, de las inundaciones y de los deslizamientos, en este caso se han tomado como los mapas de peligro para este fenómeno que afecta a todo el macizo montañoso, se escogió para presentar el de período de recurrencia de 5 años, donde las lluvias por este concepto pueden llegar hasta los 625 mm, aunque como media los 250 mm. Se hizo el análisis de los asentamientos que estarían afectados por lluvias

de intensidad ALTA (425-500 mm) y MUY ALTA (500-625 mm) por municipios y el más afectado es **Cumanayagua** con 29 asentamientos dentro de la zona de peligro y después estaría **Trinidad** con 21 asentamientos, entre los que se encuentran, los que incluyen la zona del **Valle de Alabama**. No obstante es necesario aclarar que si bien en este caso el llamado nivel medio de lluvias es también alto, en comparación con otras zonas que no son montañosas, lo que quiere decir que de manera general en el caso de las lluvias la afectación podría ser generalizada, pero son en esos municipios antes mencionados donde el problema se hace mayor. El mapa de peligro por lluvias con los asentamientos en zonas de peligro alto y muy alto se muestra en la figura 12.

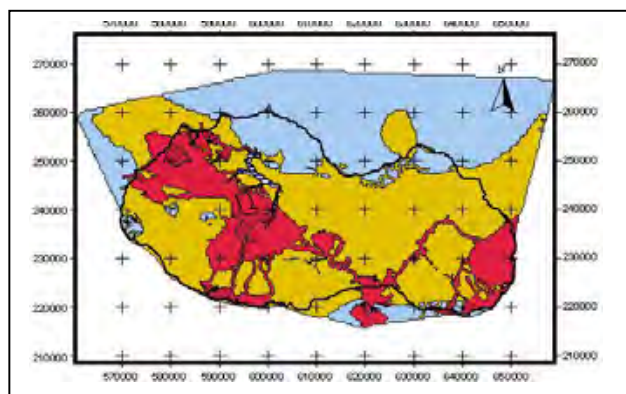


Figura 12. Mapa de peligro por lluvias para T=5 años.  
Escala colores: MUY ALTA (rojo intenso), ALTA (rojo),  
MEDIO (ocre), BAJA (azul)

Más adelante se hace un breve análisis resumido de las vulnerabilidades se presentan en la zona de estudio, para los diferentes peligros aquí zonificados.

### Vulnerabilidad

La Vulnerabilidad se define como la susceptibilidad que tienen los elementos expuestos a sufrir daños bajo la acción de un fenómeno peligroso o perturbador. La vulnerabilidad (**V**) puede expresarse desde el punto de vista matemático como un número que está acotado entre cero (0) y uno (1). Esto implica que para un evento de determinada intensidad **V** tome el valor 0 cuando los daños son nulos y 1 cuando los daños son totales (PNUD, 1991).

Por lo general la vulnerabilidad puede expresarse mediante funciones matemáticas o por las llamadas matrices de vulnerabilidad para los diferentes grados de peligro.

El nivel de vulnerabilidad existente de los elementos bajo riesgo, condiciona la magnitud de las pérdidas al impactar un agente peligroso de una "intensidad" dada, el cual puede ocasionar una situación de desastre en un área determinada. Este nivel de vulnerabilidad existente es una responsabilidad netamente del hombre, que no toma las medidas preventivas adecuadas para la reducción de la Vulnerabilidad y por ende del Riesgo.

La Vulnerabilidad Física se define como la susceptibilidad o el nivel de daños que experimentan o pueden experimentar determinados elementos expuestos o bajo riesgo, cuando son sometidos a los eventos peligrosos de una intensidad, aceleración, velocidad o desplazamiento dado (PNUD, 1991).

La Vulnerabilidad Social se define como la susceptibilidad o el nivel de daños que experimentan o pueden experimentar las personas expuestas o bajo riesgo, cuando son sometidos a los eventos peligrosos de una intensidad, aceleración, velocidad o desplazamiento dado (PNUD, 1991).

Se debe aclarar que en este trabajo la evaluación se refiere solamente a la vulnerabilidad física de las edificaciones destinadas a viviendas, aunque no para todos los asentamientos distribuidos en el territorio sino sólo con la información del 25%.

El cálculo de la vulnerabilidad por la ocurrencia de un evento peligroso se estimó a partir de las viviendas de cada caserío que se afecta ante la ocurrencia de un evento con al menos dos intensidades.

Por ejemplo para el cálculo de la vulnerabilidad por la ocurrencia de un evento sísmico se estimó a partir de las viviendas de un caserío que se afecta ante la ocurrencia de un sismo con intensidad de VI y VII grados MSK y como evento extremo el de I max = VIII MSK.

Para la evaluación de los daños es necesario tener en cuenta, además del Estado Técnico de las construcciones, la Tipología Constructiva de las viviendas, pero no de manera única sino que tenga en cuenta qué tipo de evento estamos evaluando.

La clasificación por Tipología Constructiva de la DAU divide las edificaciones según las características constructivas de los elementos que las componen (paredes, techo, pisos, etc.) en cuatro categorías (INV, 1997).

En sismología, en la escala de intensidades MSK-78, utilizada en la evaluación de los daños ocasionados por los sismos en nuestro país, las edificaciones se clasifican según la tipología constructiva en A, B y C, la que a diferencia de la clasificación de la DAU, toma en cuenta, a fundamentalmente el tipo de material (hormigón, bloques y ladrillos, adobe, madera, etc.) que predomina en la edificación, considerándolas sin medidas antisísmicas.

Por esta razón fue necesario adecuar la clasificación de la DAU (cuatro categorías), para poder pronosticar los daños en caso de un evento sísmico de acuerdo a la escala MSK-78. De esta forma las edificaciones de tipología I serían del tipo C, las de tipología II y III de tipo B y las de tipología IV de tipo A. Así en este trabajo se utilizan ambas clasificaciones teniendo en cuenta cuál utilizar según el evento peligroso que estemos considerando.

Otro factor a tener en cuenta es el por ciento de edificaciones dañadas por unidad de área, debido a la escala del trabajo (1: 50 000) se caracterizó cada uno de los asentamientos con información disponible por la Tipologías. Esta adopción hace que exista un número de asentamientos en las cuales no hay una preponderancia de edificaciones de determinada Tipología por lo que en la base de datos se incluyó una clasificación Sin Tipología predominante.

El tercer factor es el grado de daños clasificado en 5 categorías: Grado 1: Sin daños, Grado 2: daños ligeros o leves, Grado 3: daños moderados, Grado 4: daños considerables, Grado 5: daños graves. Un mayor detalle se puede encontrar en Cuevas et al. (2004).

### **Vulnerabilidad sísmica de las instalaciones económico-sociales.**

Aplicando la metodología descrita anteriormente se obtuvieron los mapas de vulnerabilidad de las viviendas según la tipología constructiva de la escala MSK-78 ante diferentes grados de intensidad sísmica: VI, VII y VIII grados, un ejemplo para el caso de intensidad VII se muestra en la figura 13.

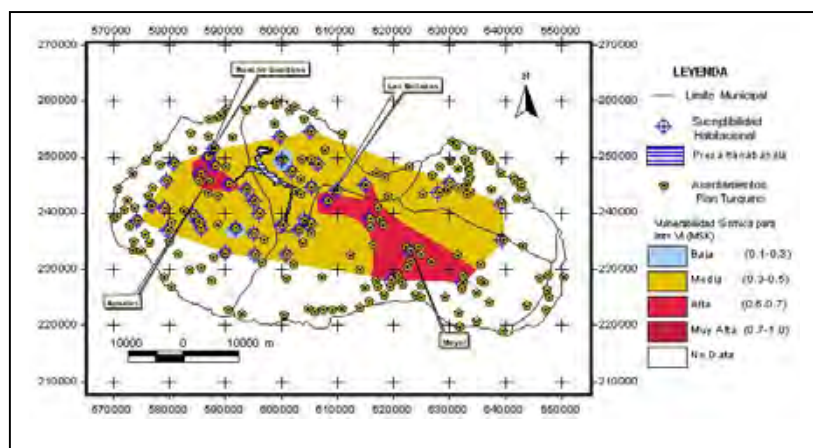


Figura 13. Vulnerabilidad ante sismos de  $I_{max} = VII$ . Escala colores: ALTA 0,5-0,7 (rojo), MEDIA 0,3-0,5 (ocre), BAJA 0,1-0,3 (azul)

Los estimados de vulnerabilidad media de las edificaciones ante los terremotos para las intensidades sísmicas analizadas oscilan entre 0,1 y 1,0, para la intensidad de grado VI, entre 0,1 y 0,3; para la de grado VII, entre 0,1 y 0,7, y para la de grado VIII, entre 0,5 y 1,0. En el caso de la Intensidad VI, la vulnerabilidad media a la que está expuesta el territorio es por lo general baja, esto se debe a que sólo serán afectadas las viviendas bajo la tipología A y excepcionalmente la B cuando se encuentren en un

estado técnico-constructivo deficiente. Cabe señalar que prácticamente todos los asentamientos de la región, podrían sufrir daños bajo esta categoría. Las zonas donde la vulnerabilidad es nula responden a la ausencia de edificaciones o la presencia de edificaciones de tipología C y B con un estado técnico constructivo bueno.

Para un sismo de intensidad VII, aparecen zonas de vulnerabilidad moderada, cubriendo buena parte del territorio, bajo esta intensidad, un por ciento de las edificaciones de tipología B, pueden sufrir daños ligeros, especialmente aquellas cuyo estado técnico-constructivo es malo o regular. Las zonas que se mantienen en la categoría baja, prevalecen edificaciones de tipología C y B en estado técnico-constructivo bueno. Donde la vulnerabilidad es nula, prevalece la tipología C o son zonas deshabitadas.

Por otra parte para el evento de caso extremo con una intensidad de VIII grados, una gran parte del territorio presenta una vulnerabilidad muy alta. Se debe señalar que el macizo de Guamuhaya es heterogéneo en cuanto a la densidad de edificaciones, y como las que más abundan son zonas rurales, prevalecen construcciones de tipología A aisladas y pueden existir construcciones de tipo B y C no destinadas a viviendas (edificaciones de carácter económico-

sociales, escuelas etc.). Esto dificulta la aplicación de las metodologías convencionales de la evaluación de la vulnerabilidad que han sido concebidas para ser aplicadas en zonas densamente urbanizadas y bajo esta óptica se deben analizar los resultados

### Vulnerabilidad de las instalaciones ante las inundaciones y lluvias intensas

Para las inundaciones y las intensas lluvias se utilizó un procedimiento similar al descrito anteriormente utilizando la expresión:

$$Vm_i = \sum_{j=1}^5 F_j * D_{ji} \quad (13)$$

Donde:

$Vm_i$ : Vulnerabilidad media  $i$  ésima de las construcciones frente a un evento de intensidad  $i$  ésima

$D_i$ : Daño que sufre una construcción de tipología  $j$  ésima frente a un evento de intensidad  $i$  ésima.

$F_j$  Fracción de las viviendas de tipología  $j$  ésima dentro de una circunscripción

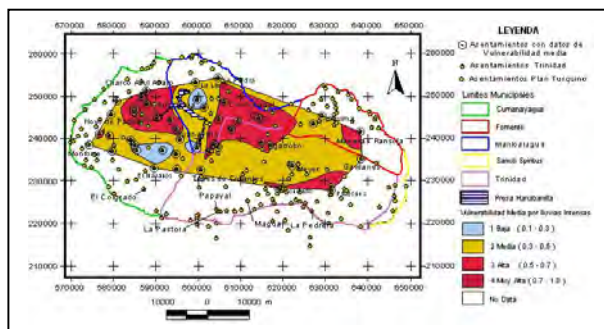


Figura 14. Mapa de vulnerabilidad media por lluvias intensas para un periodo de recurrencia de 50 años. Escala colores: ALTA 0,5-0,7 (rojo), MEDIA 0,3-0,5 (ocre), BAJA 0,1-0,3 (azul)

susceptibilidad habitacional o índice de seguridad de las viviendas.

En ambos casos se calculó la Vulnerabilidad media teniendo en cuenta diferentes periodos de recurrencia entre 5, 10 y 50 años, este último considerando que es el periodo de vida útil de las construcciones.

Según la ecuación 13, se obtuvieron los valores de vulnerabilidad media para cada uno de los asentamientos en función de la intensidad de las lluvias. Aquí sólo se presentan dos ejemplos del comportamiento de la vulnerabilidad para las intensas lluvias (figura 14) y para las inundaciones (figura 15). Los valores de la vulnerabilidad media de forma general oscilan entre 0,1 y 0,8.

La clasificación de Tipología utilizada fue la de la DAU que tiene en cuenta los tipos de techos, pisos y paredes, que son los elementos que más pueden afectar las inundaciones y las lluvias intensas, según el Manual del Programa para el Desarrollo Tecnológico de la Vivienda (INV, 1997). Tomando en consideración el estado técnico de B, R y M, se combinaron ambas características y se obtuvo la

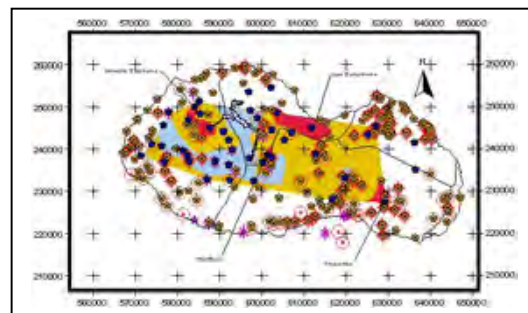


Figura 15. Mapa de vulnerabilidad media por inundaciones T=50 años



## CONCLUSIONES

- Se determinaron los escenarios y los peligros para los deslizamientos, lluvias e inundaciones, aplicando una metodología modificada a las condiciones de zona montañosas de Cuba, introduciendo un factor catalizador de las escorrentías de la red fluvial, lo que permitió mejorar la determinación de las zonas de peligros, validándose con datos de eventos históricos.
- El mayor peligro al que está sometido el macizo de Guamuhaya es a las lluvias e inundaciones que se generan tanto en la zona de altos valores hipsométricos, como en las zonas de pre-montaña y llanuras, donde la escorrentía de la red fluvial es causante en muchos casos de inundaciones en las zonas de bajos valores hipsométricos, tal es el caso por ejemplo de la zona del Valle de Agabama, en Trinidad (21 asentamientos), que es a su vez uno de los municipios más afectados por las lluvias, conjuntamente con Cumanayagua (29).
- Las mayores afectaciones por el peligro de inundaciones se encuentran en el Municipio Trinidad y Cumanayagua el primero con 54 asentamientos y el segundo con (39) que están situados en la zonas en que las inundaciones pueden tener intensidades altas, en menor grado Fomento (22) y Manicaragua (11), para un periodo de T=50 años, que es el promedio de vida útil de las instalaciones. El carácter del comportamiento de las afectaciones no varía con la disminución del período de recurrencia.
- En la zona del Valle de Agabama, en el Municipio de Trinidad, se determinó una gran zona de peligro por inundaciones, donde hay 10 asentamientos que pueden estar afectados por este fenómeno entre los que se encuentran: La Paloma, El Taje, Aracas, Fidel Claro, La Escofina, Bijalbo, Caimito, Río de Ay y Caracusey, lo que está validado con algunos de estos asentamientos que según los datos de la Defensa Civil Municipal, ocurrieron fuertes inundaciones, que llegaron en algunos sitios al nivel de 1,5 m.
- Se determinó que hay tres asentamientos que están en zona de peligro IMPORTANTE, aguas debajo de la presa Hanabanilla, ellos son Boquerones, Veguitas y Rincón del Naranjo. Se determinó que en el terreno existen buenas condiciones que ayudan a una interconexión desde la presa, hacia la zona donde están situados estos asentamientos comportándose como un pequeño valle de inundación. Esta zona ha sido reportada por la Defensa Civil y está en los antecedentes a la ocurrencia de este fenómeno.
- Las mayores afectaciones por el peligro de deslizamiento se encuentran en el Municipio Cumanayagua y Trinidad, y una pequeña parte en el municipio de Manicaragua, en lo que respecta al área de extensión. Los asentamientos potencialmente afectados por este fenómeno en Cumanayagua (12) son: Ayuales, Ballesteros Buenavista, Cabangancito, Cimarrones, Cuatro Vientos, Cuevitas, El Mamey, El Mamoncillo, El Nicho, Las Lagunitas y Veguetas. Y en el municipio de Trinidad se encuentran Topes de Collantes, Mangos Pelones, La Felicia y Palo Viejo.
- La mayor vulnerabilidad del macizo es a las intensas lluvias y las inundaciones que generan; las primeras, afectan prácticamente a toda la región, siendo los municipios mas afectados, Cumanayagua, Manicaragua y Trinidad, afectando a la población y las instalaciones, debido a interrupciones laborales y daños a los medio construidos, comunicaciones, con interrupciones de servicios básicos para la población. Las segundas afectan fundamentalmente a los municipios de Trinidad (11 asentamientos) y Cumanayagua (15 asentamientos) y en menor grado a Manicaragua (9), pueden llegar a provocar daños estructurales a las viviendas e instalaciones o agravando sus patologías constructivas, pero al igual que las intensas lluvias, sus principales efectos tienen un carácter funcional, interrumpiendo la actividad laboral y servicios primarios a la población como producción y distribución de alimentación, viales, servicios sanitarios, agua, combustible, etc. , por períodos mas o menos prolongados.

- El segundo lugar en vulnerabilidad lo ocupan las afectaciones por la ocurrencia de terremotos de intensidad VII y VIII, que afectarían fuertemente a prácticamente las viviendas de 28 poblados y sus pobladores.
- En tercer lugar están los deslizamientos pudiendo afectarse unos 34 asentamientos además de las vías de comunicaciones que les comunican, lo que es lógico dada la constitución geológica, las pendientes del macizo y la alta frecuencia e intensidad de las lluvias intensas en esta región del país. Los asentamientos más vulnerables son: en el municipio Trinidad: Topes de Collantes y a los asentamientos de Ayuales, El Nicho, El Mamey y Ballesteros; en Cumanayagua: Cimarrones, Vegueta, Cuevitas, Charco Azul Arriba y Cuatro Vientos, y Manicaragua: Tres Palmas y Guanayara.
- Las vulnerabilidades medias estuvieron afectados por la carencia de información sobre las características de los bienes expuestos (viviendas e instalaciones socio-económicas), su no actualización o carencia de la información, en una gran parte de los poblados en la región de los trabajos. La situación de la Vulnerabilidad en ese caso pudiera mejorar o empeorar en dependencia de la información disponible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, L., T. Chuy, M. Cotilla, 1991. Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional. Revista Geofísica del IPGH, No. 35, pp. 125-150.
- Chuy, T., 2000. "Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica", Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas, Stgo. de Cuba.
- Cuevas, J. L., L. A. Díaz, I. I. Pedroso, S. E. Pacheco, I. González, B. Polo, M. Guerra, Y. González, E. Jaimez y J. F. Alcalde (2002); "Mapas Temáticos para la Estimación de la Vulnerabilidad, Peligros y Riesgos Geólogo-Geofísicos en el Macizo Montañoso de Guamuhaya" [inédito]. Inf. Resultado Proyecto "Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados, en los Macizos Montañosos de Guamuhaya y Guaniguanico, Cuba", Dpto. Geof. Reg. y Riesgos, Inst. Geof. y Astron., La Habana, 41 pp + 17 anex. gráf.
- Cuevas, J. L., B. Polo, M. Fundora, I. I. Pedroso, L. A. Díaz, J. F. Alcaide, E. Jaimez, Y. Gonzalez, M. Guerra, B. E. González, J. García, G. Saura, R. Osés, L. D. Pérez y W. Hernández, 2004. Zonación de los Riesgos Geólogo-Geofísicos y Tecnológicos asociados en los Macizos Montañosos de Guamuhaya y Guaniguanico, Cuba. Inf. Final Proy., Archivo Ins. Geof. y Astron., La Habana, 157 pp.
- Fundora, M. J., L. Díaz, I. I. Pedroso, T. Torres, M. Guerra, M. Campos, E. Jaimez, B. E. González, J. García, 2000. "Elaboración y Validación de una metodología para la estimación de Peligros, Vulnerabilidad Riesgos Geológicos, Hidrológicos y Tecnológicos conexos. Validación en el municipio San José de las Lajas" [inédito]. Inf. Cient.-Téc. Final Proy., Archivo Inst. Geof. y Astron., La Habana, 165 pp.
- Fundora, M., I. I. Pedroso, Y. González, M. Guerra, S. E. Pacheco, E. Jaimez, I. González, B. González, J. García, C. Sacasas, C. Llanes, L. Hernández, E. Suárez, L. D. Pérez y F. Francis, 2003. " Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos Geológicos, Geofísico-meteorológicos y tecnológicos conexos del municipio capitalino Playa", Inf. Result. Final, Inst. Geof. y Astron., La Habana, Cuba.
- Hirschberg J.C., Gordon P. and Petak W. J., 1978 "Natural hazards: socio-economic Impact assessment model", NSF/PRA-7509998/5, J W Woiggins and Co., Redondo Beach, California, USA.
- INV - Instituto Nacional de la Vivienda, 1997, "Programa para el desarrollo Tecnológico de la Vivienda en el Período 1997-2000, Centro Técnico de la Vivienda y el Urbanismo, La Habana, Cuba.
- Mora S., Vahrson G & Mora R.(1988): "Macrozonación de la amenaza de deslizamiento y resultados obtenidos en el área del valle central de Costa Rica"
- Oliva, R. et al, 1982, "Vulnerabilidad sísmica de la Ciudad de Stgo de Cuba", Informe de Proyecto, CENAI, Stgo de Cuba.



- Ordaz, M., 1996. "Algunos conceptos del análisis de riesgos". Prevención No. 14, CENAPRED.
- PNUD (1991)" Programa de entrenamiento para el Manejo de Desastres".
- Polo, B. y J. L. Cuevas, 2005. Peligbas: Un Sistema de Base de Datos de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos en el Macizo Montañoso de Guamuhaya. Una herramienta para la gestión y el manejo de riesgos. Memorias GEOCIENCIAS 2005 (I Conv. Cienc. De la Tierra: VI Cong. Cub. Geol.: Simp. Sismología y Riesgos Geol.), 5-8 abril, La Habana, 15 pp.
- Rivero, F. y otros, 2000. Informe Final del proyecto "Confeción del SIG para el Sistema Montañoso Guamuhaya", GEOCUBA Programa Nacional de la Montaña, La Habana, Cuba.
- Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TCA, ISSMFE (1993). Manual for zonation on seismic geotechnical hazards. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering ISBN 4-88644-807-0 pp. 150.

## **METODOLOGÍA PARA DISMINUIR LOS RIESGOS DE AFECTACIONES PRODUCIDAS POR EL AGUA EN LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS**

*MSc. Armando Cuesta Recio(1), Ing. Roberto Watson Quesada(2)*

*(1)Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr Antonio Núñez Jiménez. (2)Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr Antonio Núñez Jiménez.*

En el trabajo se realiza un análisis de obras ubicadas en el complejo ofiolítico de Moa Barbacoa al noreste de la provincia de Holguín, que han sido construidas sin considerar aspectos importantes como los geólogos estructurales, hidrogeológicos e hídricos, lo que ha traído como consecuencia que gran parte de estas obras, tengan alguna afectación. Estas afectaciones se asocian fundamentalmente a la presencia de agua agravada por problemas estructurales típico de los macizos ofiolíticos.

En el trabajo se muestran los aspectos o variables que facilitan que el agua penetre a las obras subterráneas, y provoque afectaciones en las mismas (derrumbes, inundaciones), pero que a la vez estas variables tienen marcada influencia en las vías para el control del agua que puede afectar estas obras. Finalmente se presenta un caso en el que es aplicada esta metodología para la selección de la vía para evitar las afectaciones que producen el agua alas obras subterráneas, que se encuentra actualmente en para su aplicación.



Derrumbes a consecuencia del aumento del peso de los bloques por la acumulación de agua



## UTILIZACION DE PARAMETROS INGENIERO – GEOLOGICOS EN LA PRECISION DEL FENOMENO DE LICUACION. CASO SANTIAGO DE CUBA.

**Ing. Julio Cesar Vázquez Batista**

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 17 No. 61 % 4 y 6. Reparto Vista Alegre. Santiago de Cuba. [cesar@cenais.ciges.inf.cu](mailto:cesar@cenais.ciges.inf.cu)

### RESUMEN.

Se presenta la aplicación de los métodos de Iwasaki y de Seed – Idrish para la determinación de la ocurrencia o no del fenómeno de licuación en diferentes áreas de la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores. Se establecen consideraciones acerca de las características ingeniero – geológicas que permiten realizar estas investigaciones con mayor precisión. Al mismo tiempo se muestran para las áreas estudiadas el valor del Factor de Seguridad F contra la ocurrencia de licuación en las 41 obras estudiadas.

Como complemento a la posible aparición de este fenómeno en áreas de la ciudad de Santiago de Cuba, se muestran consideraciones utilizando criterios históricos, geológicos, composicionales y de estado. Se comparan los resultados obtenidos con los ya establecidos de forma previa en este territorio.

### ABSTRACT.

The application of the Iwasaki and Idrish' methods, to the determination of the liquefaction phenomena occurrence, in different areas of Santiago de Cuba city and surrounding areas is presented. The consideration related to the engineering - geological characteristics that make possible to do with more accuracy these investigations, are established here. At the same time, the values of Security Factor F, against the liquefaction occurrence, in the 41 places studied are shown.

As a complement to the possible occurrence of that phenomena in several areas of Santiago de Cuba city, considerations using historic, geological, compositional and stage criteria are also shown. The obtained results are compared with the results established before in that territory.

### INTRODUCCIÓN.

En este trabajo se abordó de una forma amplia todo lo concerniente al fenómeno de la licuación, ya que por su importancia y posibilidad de ocurrencia en nuestra provincia, en específico en el municipio de Santiago de Cuba y en el área que contorna a la bahía, es de especial interés realizar la definición de las zonas que ante un evento que provoque esfuerzos dinámicos, se puedan producir licuaciones del terreno. Para la definición de estos puntos se aplicarán dos métodos de cálculos para de esta forma, posteriormente, poder realizar comparaciones entre ellos y determinar - con un elevado nivel de confiabilidad - los puntos que van a experimentar el fenómeno estudiado.

Los métodos que se van a aplicar son:

Método de Seed and Idrish.

Método de Iwasaky.

Por otra parte tenemos que la posibilidad de ocurrencia de este fenómeno en el área antes mencionada, se ve aumentada debido a que esta zona es de alto riesgo sísmico y por su



cercanía al mar los niveles del manto freático se encuentran muy próximos a la superficie, condiciones que al conjugarse favorecen la ocurrencia de la licuación. Este fenómeno ha sido nefasto en otros países, en los cuales ha provocado grandes pérdidas en varios de los sectores de la economía, tal es el caso del terremoto producido en 1920 en Kanzú, China, en el que un tramo de carretera se deslizó 1.600 m, además de dos deslizamientos catastróficos de gran magnitud ocurridos en Elm, Suiza (1932) y en Alberta, Canadá (1903).

Por lo que nos propusimos como objetivo de este trabajo obtener mediante cálculos las zonas susceptibles de sufrir licuación por diferentes métodos, para de esta forma poder llegar a conclusiones y establecer comparaciones en las zonas periféricas a la bahía de Santiago de Cuba.

## **GENERALIDADES SOBRE EL FENÓMENO DE LA LICUACIÓN DE LOS SUELOS.**

Para poder entender la esencia de este fenómeno es preciso conocer las condiciones que existen en un depósito de suelo antes de un terremoto, cada partícula está en contacto con otro grupo de éstas cercanas a ellas. El peso de las partículas provoca en la unión de un grupo con otro una fuerza que da la resistencia del suelo.

- ¿Qué es la licuación de un suelo?
- ¿Cuándo ocurre este fenómeno?
- ¿Dónde ocurre él mismo?
- ¿Cuales son los suelos susceptibles de sufrir licuación?
- ¿Causas que la provocan?

Se entiende por licuación de un suelo a la pérdida de su resistencia al esfuerzo cortante temporal o definitivo. Los materiales en que ha ocurrido el fenómeno son: las arenas secas, sueltas y las saturadas; sobre todo las de baja compacidad y finalmente las arcillas saturadas muy sensibles en las cuales se ha observado este fenómeno, pero no con la incidencia de los suelos arenosos.

Los suelos susceptibles de licuarse son aquellos en los que los contactos entre los granos son comparativamente escasos, lo que propicia que se pierdan casi totalmente durante el flujo propiamente dicho, consecuentemente, el fenómeno de la licuación afecta a los suelos sedimentarios naturales o a los depósitos artificiales, que son los que presentan aquel tipo de estructura; en efecto, el tamaño de los granos, su uniformidad y la baja velocidad de sedimentación en aguas tranquilas, son todos los factores que se conjugan para formar estructuras muy sueltas.

La licuación ocurre cuando la estructura de una arena suelta, saturada se rompe por la acción de un peso (carga), como la estructura se rompe, las partículas sueltas tienden a moverse dentro de una configuración más densa, sin embargo, en un terremoto no hay tiempo para que el agua del suelo se escurra, esta agua se queda en el suelo y no permite que las partículas se unan, a esto se une una creciente presión de agua que reduce las fuerzas entre las partículas, de esta forma se debilita el suelo, en ocasiones el agua alcanza tal fuerza que hace que algunas partículas de suelo pierdan contacto total con el resto, en estos casos el suelo está muy débil y se comporta más como líquido que como sólido, cuando el suelo llega a este estado se puede decir que el mismo está licuado.

Las causas que pueden producir el fenómeno de licuación son de dos tipos: por incremento de los esfuerzos cortantes que obran en el suelo o por disminución de la resistencia a los mismos y



hay licuación producida por una sollicitación brusca sobre el suelo, tal como un sismo, un impacto, etc. El segundo tipo, cuando ocurre sobre arenas saturadas suele denominarse licuación espontánea, por la rapidez con que tiene lugar y es el más importante desde el punto de vista ingenieril. En lo que sigue se mencionaran algunas ideas en torno a la licuación por incremento de esfuerzo cortante, pero se hará énfasis especial en la debida a la acción de una vibración rápida; también se insistirá especialmente en los casos relacionados con arenas saturadas.

Para los suelos arcillosos la ley de Coulomb  $S = C + (\sigma' - \mu) \cdot \tan \phi$  plantea lo siguiente:

Como en estos tipos de suelos el ángulo de fricción interna  $\phi$  es aproximadamente 0 entonces la expresión queda reducida a  $S = C$  donde se deduce que la resistencia a cortante del suelo depende casi totalmente de la cohesión del mismo y ello hace que el fenómeno se reduzca en estos tipos de suelos.

En las arenas saturadas el fenómeno de la licuación se puede explicar de forma sencilla mediante la expresión anterior:  $S = C + (\sigma' - \mu) \cdot \tan \phi$

Siendo:

- S- Resistencia a cortante del suelo.
- C- Cohesión del suelo.
- $\sigma'$ - Presión efectiva vertical actuante.
- $\mu$ - Presión intersticial o presión de poros.
- $\phi$ - Angulo de fricción interna del suelo.

Para poder analizar este tipo de fenómeno es preciso incluir un nuevo parámetro denominada **aceleración crítica**, siendo éste un valor límite para el cual no aparecen presiones de poro dentro de la masa de suelo. Si en algún momento el valor de la aceleración llegase a ser mayor que la crítica puede suceder lo que a continuación se refiere.

Si hacemos un análisis de la ecuación anterior podemos inferir de forma inmediata que como nos encontramos hablando de una arena el valor de la cohesión tiende a ser cero, y si debido a la acción dinámica la cual puede presentar una aceleración mayor que la crítica, por ejemplo la de un sismo, la presión de poros aumenta por la tendencia a la reducción de volumen y toma valores grandes, puede llegar a igualar el valor de la presión efectiva vertical y de esta forma se anularía todo lo que está dentro del paréntesis haciendo cero esto a toda la expresión, dando como resultado que el valor de la resistencia a cortante del suelo se anule y de esta manera ocurra el fenómeno de la licuación por falta de resistencia del mismo.

Por otra parte existen cuatro criterios que abordan la problemática, y dan una amplia panorámica de las características generales de los suelos que pueden provocar Licuación. Estos criterios se muestran a continuación:

- **Criterio Histórico:-**

Los suelos que han sido licuados son propensos a volver a experimentar este fenómeno ante futuros terremotos. Para realizar la construcción de una obra y saber si el sitio es susceptible a la licuación se debe investigar sobre terremotos anteriores para ver si han causado daños por licuación en el área. En algunos mapas se puede encontrar esta información.



- **Criterio Geológico:**

El tipo de proceso geológico que dio origen al suelo influye mucho en cuan susceptible puede ser éste ante el fenómeno tratado. Los suelos saturados que se crearon por sedimentación en ríos y lagos pueden ser muy susceptibles. Estos procesos acomodan las partículas de manera y tamaño uniforme y las depositan en un estado suelto que tiende a densificarse cuando las remueve un terremoto. Como ya mencionábamos, la tendencia a densificarse conlleva a un aumento de la presión de poros y consecuentemente una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante.

- **Criterio Composicional:**

El suelo arcilloso se puede comportar como un suelo licuable pero no lo hace de la misma manera que un suelo arenoso. Mientras más dispares son los tamaños de las partículas menos susceptibles son a la licuación ya que las partículas pequeñas tienden a llenar los espacios entre las grandes (no hay mucha disociación).

- **Criterio de Estado:**

A presión constante, la resistencia a la licuación aumenta con la densidad relativa, ( $D_r$ ), y a una densidad relativa constante, la resistencia a la licuación aumenta con una creciente presión. El estrés estático de cizallas en un suelo es crítico para la susceptibilidad de un suelo a la licuación. Mientras mayor sea el estrés, mayor será el potencial de licuación y menos trabajo cuesta licuar el suelo.

- **Factores que posibilitan la ocurrencia de la licuación.**

Podemos señalar que la ocurrencia de Licuación proviene de la combinación de dos factores:

Uno interno: Caracterizado por la tendencia de un suelo dado o sitio a licuar, el cual es llamado Susceptibilidad de Licuación.

Otro externo: Caracterizado por la acción de carga en relación con la tierra en movimiento; esto es frecuentemente referido como Oportunidad de Licuación y representa la capacidad del terreno a causar la licuación.

La combinación de estos factores conlleva al **Peligro de Licuación**, que es frecuentemente llamado **Potencial de Licuación**.

**Susceptibilidad de licuación.** La Susceptibilidad de Licuación de los suelos depende de varios parámetros de los suelos como son:

- Densidad relativa.
- Radio de sobreconsolidación.
- Curva granulométrica / cohesión.

Son susceptibles a licuación bajo determinadas características:

- a) Sedimentos arenosos y arenas saturadas.

No son susceptibles a licuación bajo ningún caso:

- a) Suelos gravosos con  $D_{10}$  mayor que 2 mm.
- b) Suelos arcillosos de consistencia firme.





Determinar estas zonas es de vital importancia para planificadores urbanísticos y gobierno de la provincia, pues permite trazar nuevas estrategias de planeamiento y toma de medidas para minimizar los posibles daños.

## **ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS SUSCEPTIBLES A LICUARSE EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CUBA. ARGUMENTACIÓN MEDIANTE EL CÁLCULO.**

Se realizó una revisión de algunas obras que se encuentran próximas a la bahía de la ciudad de Santiago de Cuba, las cuales tienen una vital importancia desde el punto de vista social y económico. Como sabemos en esta área existen condiciones propicias para la ocurrencia de un sismo o terremoto, siendo éste, uno de los factores principales que llevan consigo la aparición del fenómeno de la licuación; esta zona presenta una elevada sismicidad, en la que se pueden producir eventos de tal magnitud que contengan una aceleración mayor que la crítica, dando lugar sin duda a un aumento de la presión de poros del suelo, por otra parte tenemos que debido a cercanía al mar de toda esta área los niveles freáticos se encuentran muy próximos a la superficie, condición que al conjugarse con la anteriormente expuesta propician circunstancias ideales para la ocurrencia de este fenómeno.

Para realizar la zonificación de estas áreas, se utilizaron dos métodos de cálculo, realizando posteriormente una comparación de los resultados obtenidos para poder definir con un alto nivel de confiabilidad los puntos susceptibles a experimentar licuación.

### **A continuación se relacionan las obras que fueron estudiadas:**

- |  |   |
|--|---|
| 1- Cementerio Finca Caimanes.                                | 21- Obra Frigorífica.   |
| 2- Hospital Militar (Cuerpo de Guardia).                     | 22- Muelle Refinería (Hermanos Días).                               |
| 3- Molinera Frank País.                                      | 23- Unidad de Destilación Primaria (Refinería Hnos. Días).          |
| 4- Tanque Succión (Hospital Militar).                        | 24- Nueva Línea Cemento Mercerón.                                   |
| 5- Ampliación de RENTÉ.                                      | 25- Torre Iluminación (Puerto Guillermón Moncada).                  |
| 6- Unidad de Destilación Primaria (Refinería Hermanos Días). | 26- Tanque Elevado Km. ½  |
| 7- Ampliación de la Torre AFI.                               | 27- Taller Naval El Níspero.  |
| 8- Adaptación del edificio de la Aduana para el MININT.      | 28- Laboratorio Eléctrico RENTÉ.                                    |
| 9- Muelle Malecón Terminal 620.                              | 29- Trituradora Mat. Primario (Fabrica de Cemento).                 |
| 10- Hospital Militar (Galería de Comunicaciones).            | 30- Muelle y Varadero.  |
| 11- Planta de Avena y Caldera (Molinera).                    | 31- Ramal FC. y Patio Refinería.                                    |
| 12- Planta de Avena.   | 32- Gasoducto Refinería.  |
| 13- Muelle Mielero.  | 33- Trabajos Complementarios TIT. 152.                              |
| 14- Tanque para combustible.                                 | 34- Fábrica de Aceite Santiago.                                     |
| 15- Ampliación Molinos de Trigo (Frank País).                | 35- Remodelación Punta Gorda.                                       |
| 16- Aulas Hospital Militar (Castillo Duany).                 | 36- Centro de Proceso y Distribución MIP.                           |
| 17- Hotel para funcionarios y tripulantes del Ferrocarril.   | 37- Edificio Socio- Administrativo Aduana.                          |
| 18- Estación de Ferrocarril (Santiago).                      | 38- Tanque de Petróleo RENTÉ.                                       |
| 19- Arcos de Bienvenido.                                     | 39- Refinería Hnos. Días (Base de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ). |
| 20- Ampliación Refinería U. Desolación P. Crudo.             | 40- Almacenes In Bond.  |
|  | 41- Almacenes de Cimex (Santiago In Bond).                          |



### **Método de Seed and Idrish.**

Este método es del año 1976 y fue realizado por los científicos antes mencionados; ofrece resultados sumamente confiables ya que tiene en cuenta numerosas características del suelo que se analiza.

Por otra parte, realizamos una correcta documentación sobre todos los informes Ingeniero-Geológico de obras existentes en la zona que se está estudiando. Estos informes fueron tomados de Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), que es la encargada de realizar el importante trabajo de campo, el que reviste una connotación especial, ya que para poder llevar a cabo cualquier construcción se hace necesario un estudio de los suelos del área, máxime cuando se trata de la parte aledaña a la bahía de Santiago de Cuba.

Como dato importante podemos destacar que el análisis de susceptibilidad a la licuación sólo se le realizaron a los suelos que en su composición tuviesen estratos arenosos, a una profundidad correspondiente al medio del estrato analizado, y se consideró que el manto freático se encontraba en la superficie, para de esta forma considerar la condición más desfavorable que por las condiciones existentes es perfectamente posible que ocurra, y de esta forma se tomó en cuenta un aumento de la presión neutra que, como ya se ha explicado, es uno de los factores que puede llevar a un suelo a licuarse.

A los suelos, que una vez revisados dieron licuables por cálculo, se le analizó hasta qué profundidad se mantenía este fenómeno, para poder determinar si el estrato era licuable completa o parcialmente. Para realizar esto se fue variando la profundidad (z), hasta llegar al fin del estrato en correspondencia con lo obtenido.

La ecuación general de este método es la siguiente:

$$F_L = (C_r * R) / (S_e / p_o) \quad (1)$$

donde:

$F_L$  – Factor de resistencia a licuación.

$(C_r * R)$  – Capacidad del suelo de resistir la licuación.

$(S_e / p_o)$  – Carga dinámica.

- Si  $F_L$  es mayor que 1.2..... no hay licuación.
- Si  $F_L$  es menor o igual a 1.2..... si hay licuación.

### **Método de Iwasaki.**

Este método, al igual que el anterior, tiene en cuenta un gran número de características propias del suelo que se está analizando. Debemos destacar que  $(N_{spt})$ , es el número de golpes promedio para penetrar 30 cm de una muestra de suelo. Otro factor que se tomó en cuenta para poder emplear este método fue el contenido de finos del suelo, que se obtuvo mediante la utilización de la curva granulométrica, además este método toma en cuenta la presión hidrostática que se genera a una profundidad determinada producto a las densidades de los materiales que se encuentran ubicados en cada una de las áreas estudiadas.



La ecuación general del método es:

$$F_L = R / L \quad (2)$$

Donde:

$F_L$  – Factor de resistencia a licuación.  
R – Capacidad del suelo de resistir la licuación.  
L – Carga dinámica.

- Sí  $F_L > 1.2$  no hay licuación.
- Sí  $F_L \leq 1.2$  si ocurre la licuación.

## RESULTADOS OBTENIDOS.

Obra	Seed and Idrish	Iwasaki
1	NL	NL
2	0.67	0.68
2	0.75	0.78
3	NL (NO ARENA)	NL (NO ARENA)
4	0.57	0.72
5	NL (NO ARENA)	NL (NO ARENA)
6	NL (NO ARENA)	NL (NO ARENA)
7	NL (ROCA)	NL (ROCA)
8	0.59	0.77
9	0.1	0.12
9	0.41	0.32
9	0.82	0.66
10	NL (ARCILLA)	NL (ARCILLA)
11	NL (ARCILLA)	NL (ARCILLA)
12	NL (ARCILLA)	NL (ARCILLA)
13	NL (ARCILLA)	NL (ARCILLA)
14	NL (ARCILLA)	2.2
15	NL (ARCILLA)	NL (ARCILLA)
16	0.6	0.7
17	0.4	0.54
18	NL (NO ARENA)	NL (NO ARENA)
19	0.7	0.99
20	NL (NO ARENA)	NL (NO ARENA)
21	NL (ROCA)	NL (ROCA)
22	NL (ROCA)	NL (ROCA)
23	NL (ROCA)	NL (ROCA)
24	NL (ROCA)	NL (ROCA)

Obra	Seed and Idrish	Iwasaki
25	NL (ROCA)	NL (ROCA)
26	NL (ROCA)	NL (ROCA)
27	NL (ROCA)	NL (ROCA)
28	NL (ROCA)	NL (ROCA)
29	1.25	1.23
30	0.24	0.9
30	1.38	1.23
31	1.00	0.98
31	0.99	0.85
32	0.36	0.74
33	NL (ROCA)	NL (ROCA)
34	1.15	1.00
35	1.21	1.31
36	NL (NO ARENA)	NL (NO ARENA)
37	FUERA	FUERA
38	0.32	0.58
39	NL (ROCA)	NL (ROCA)
40	NL (NO ARENA)	NL (NO ARENA)
41	0.02	0.66

Donde:

NL – suelo no licuable.

No arena – no existe arena en el perfil de suelo.

Fuera – obra fuera del área de estudio



### **Valoración de los resultados.**

Al realizar un profundo análisis sobre los resultados arrojados, podemos afirmar con toda certeza que los mismos son confiables, ya que en todos los casos existió coincidencia entre ellos.

Por todo lo anteriormente señalado, podemos decir - con toda seguridad - que los suelos que se encuentran donde están ubicadas las obras que se relacionan a continuación son suelos que ante un sismo de las características del asumido van a sufrir el fenómeno de la licuación:

- Hospital Militar (Cuerpo de Guardia).
- Tanque Succión (Hospital Militar).
- Muelle Malecón Terminal 620.
- Ramal FC. y Patio Refinería.
- Almacenes de Cimex (Santiago In Bond).
- Adaptación del edificio de la Aduana para el MININT.
- Hotel para funcionarios y tripulantes del Ferrocarril.
- Tanque de Petróleo RENTÉ.
- Muelle y Varadero
- Fábrica de Aceite Santiago
- Gasoducto Refinería.
- Arcos de Bienvenido.
- Aulas Hospital Militar (Castillo Duany).

### **CONCLUSIONES.**

- Al terminar con los cálculos se pudo observar que 13 obras resultaron ser licuables.
- Los informes Ingeniero- Geológicos no reflejan exhaustivamente las propiedades de los suelos, potencia de los mismos, ni datos referentes a los ensayos de campo como son: CBR, Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP), Índice de Plasticidad (IP), etc.
- Contrariamente a lo esperado en la zona de la bahía; los materiales predominantes son: Roca y Materiales Arcillosos, siendo arenosos solamente en ciertos lugares.

### **RECOMENDACIONES.**

- Verificar la estratigrafía de los puntos que una vez calculados dieron como licuables.
- Por la gran importancia que revisten estas investigaciones se debe precisar con más detalle la granulometría de las excavaciones que se practiquen en esta área.
- Realizar chequeos posteriores considerando otras magnitudes y aceleraciones.



- Aumentar la cuantía de las investigaciones para corroborar IN SITU posibilidades de licuación en los puntos en que ocurre, además de aumentar el número de obras analizadas para poder definir una mayor cantidad de puntos que puedan experimentar el fenómeno antes mencionado.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

Bowles J. J, 1990. Physical and Geotechnical Properties of Soils. EUA, Vol I, No I.  
Cakmak. A. S, 1986. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Japan, Vol V, No I.



## PROTECTION OF EARTHQUAKE DISASTER SITE IN NINGXIA

**Yuan li-xia<sup>1,2</sup>**

1.The president office of Ningxia University, No:276,Xixia District Yinchuan Ningxia 750001 China. E-mail: [yuanlx@nxu.edu.cn](mailto:yuanlx@nxu.edu.cn)

2.Geology Department of Northwest University, No:229,North Taibai Road, Xian Shaanxi 710069 China) [yuanlx1399@sohu.com](mailto:yuanlx1399@sohu.com)

This article based on the disaster line effect which caused by strong earthquake occurred in Xiji Ningxia 1920.This area have earthquakes risk specifically, therefore the earthquake cause disaster line seriously, such as loess landslides, soil erosion and flood. In landslides serious area Xiji Ningxia, the landslides which caused by strong earthquake have formed biggest barrier lake high more 100m than Xiji County, it means that if have any degree earthquake again, the Xiji County will be covered by flood. How to save lives and protect property ? How does the government enforce regulation after earthquake disaster? The government must establish social and technical disaster prevent and cure systems. In the same time, preventing all those seismic disaster site for human.

The social program's goal is to offer some examining opportunities to development various level leader's management skill, which will provides correct ideas and ways to help both leader and general people solving detail disaster problem and promoting the response effect. Helping people with key methods across the disaster action.

The technical program's goal is a professional prevent and cure measurement system, which applied the skills and knowledge necessary for disaster and emergency event. which graduates professional methods for those who charge landslides disaster observe and have various successful experience carry out successfully. Nearly 10% people those who in Ningxia every major region become fundamental members that provide further information in time.

Those two active disaster management offer good opportunity to make the professional members have excellent certify qualified in prevent and cure disaster, all of those ways will make practitioners obtain effectively balance between emergence and management skill.





## MAPAS DE PELIGROS MÚLTIPLES DEL MUNICIPIO CAPITALINO PLAYA

**Ida I. Pedroso Herrera**<sup>(1)</sup>, Manuel J. Fundora Granda<sup>(1)</sup>, Yhoama González Jorge<sup>(1)</sup>, Mario Guerra Oliva<sup>(1)</sup>, Elier S. Pacheco Moreno<sup>(1)</sup> e Ismael González Metauten<sup>(1)</sup>. Berta Elena González Raynal<sup>(2)</sup>, Luis D. Pérez Lara<sup>(2)</sup>, Efrén Jaimez Salgado<sup>(1)</sup>

(1) Instituto de Geofísica y Astronomía y (2) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas.

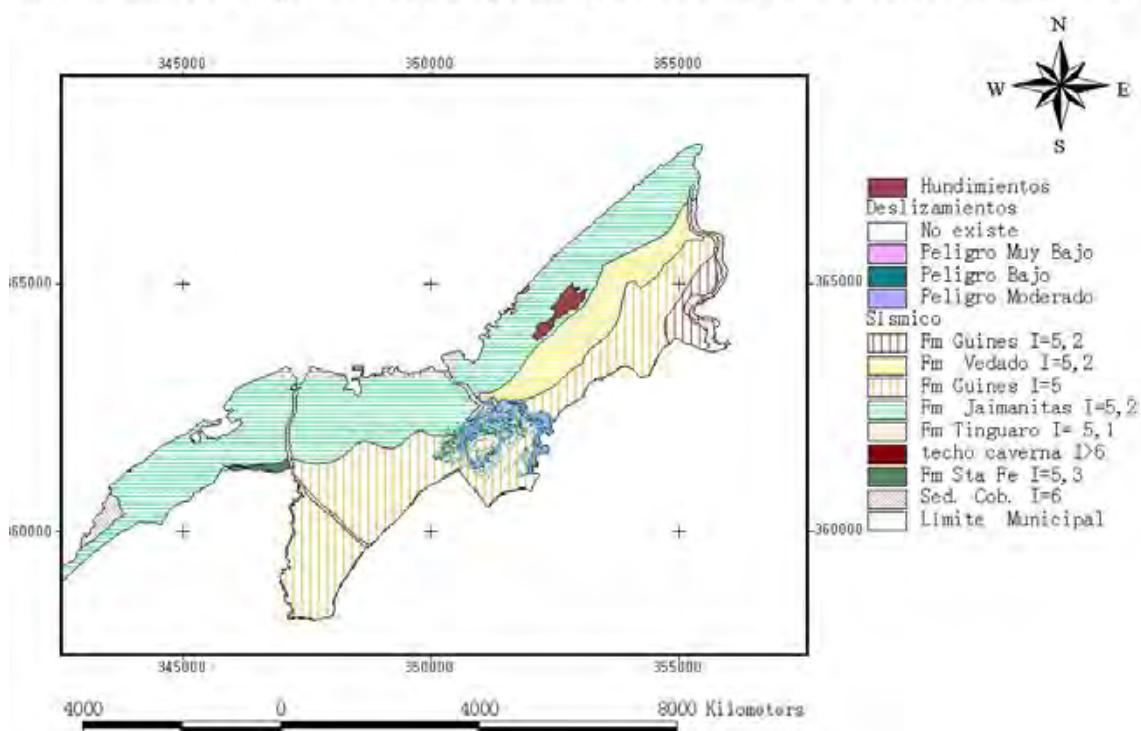
El propósito de los Mapas de Peligros Múltiples (MPM) es presentar la información relacionada con diferentes peligros para un área en estudio en un sólo mapa, ofreciendo un cuadro compuesto de los peligros naturales de diferentes magnitudes así como de su frecuencia y área de impacto.

El estudio de los peligros a que está sometido el municipio Playa resulta de gran interés al estar constituido por zonas muy urbanizadas, con una gran cantidad de centros turísticos, embajadas, numerosos teatros, museos, hospitales, escuelas, centros de educación superior e instituciones científicas.

En el presente trabajo se expone el MPM del municipio Playa. El mapa está soportado en el SIG ARCVIEW 3.2. En él se caracterizan los peligros sísmicos, por deslizamientos, así como los zonas de posible hundimiento por carso y peligros de inundación costera, fluvial o terrestre, mostrando la ubicación, probabilidad de ocurrencia (frecuencia o períodos de retorno) y severidad de dichos peligros.

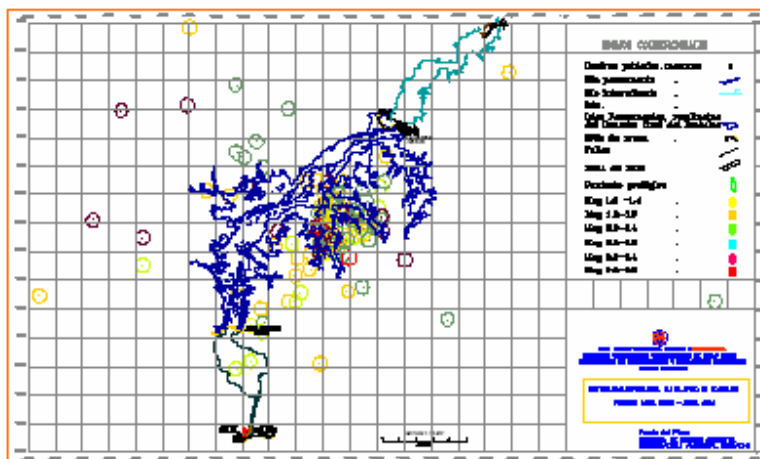
El MPM puede ser de gran valor en la planificación de nuevos proyectos de desarrollo y en la incorporación de técnicas para la reducción de peligros dentro de la actividad de desarrollo ya existente, es excelente para analizar la vulnerabilidad y el riesgo ya que los efectos combinados de los fenómenos naturales sobre un área, pueden ser determinados y se pueden identificar las técnicas de mitigación adecuadas para todos ellos.

### Mapa de Peligros Múltiples por fenómenos sísmológicos



## Jesus Duque (1)

En los últimos años uno de los temas que ha despertado gran interés es la relación entre la creación de grandes embalses y el cambio en la actividad sísmica de la región donde ha sido emplazado. En Venezuela el más reciente caso de Sismicidad Inducida lo constituye el embalse de Caruachi, ubicado en el estado Bolívar al Sur-Oeste del país, el cual comenzó a llenarse el día 23 de Noviembre de 2002 alcanzado la cota máxima de 91,25 m.s.n.m., el 12 de Marzo de 2003. A los 37 días comenzó a registrarse actividad sísmica a 14 Km aguas arriba del sitio de presa. Sólo dos de los 124 eventos registrados hasta el presente alcanzaron la magnitud ( $M_c$ ) de 3,5. Dichos eventos ocurrieron el 12 de Junio y el 5 de Septiembre del año 2003, sus mecanismos focales indicaron movimientos de tipo inverso con componente de rumbo. El valor “ $b$ ” calculado para dos dos períodos de seis meses indican una disminución en el estado de esfuerzos en la región con valores que varían entre 1.08 para el primer semestre y 0.71 para el segundo semestre.



### Distribución Epicentral en Caruachi.



## VULNERABILIDAD GEOLOGICA E HIDROLOGICA DE LAS CARRETERAS DE INTERES NACIONAL EN LA PROVINCIA DE GRANMA

**Juan José Almirall Beltrán<sup>(1)</sup>, Rosa Guerra Arias<sup>(1)</sup>, María del C. Turiño Pérez<sup>(1)</sup>, Joaquín Licea Fonseca<sup>(1)</sup>, Mercedes Brull Pueblas<sup>(1)</sup>, Rafael Rosales Corzo<sup>(1)</sup> y Abel Rodríguez Ramos<sup>(1)</sup>.**

(1) Unidad Empresarial de Base de Proyectos e Investigaciones Granma, calle Amado Estévez No. 61 Rpto. Jesús Menéndez. Bayamo. Granma. Cuba, E-mail: jalmirall@inrhgr.co.cu

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la identificación y solución de los riesgos que afectan las 26 carreteras de interés nacional en la provincia de Granma, logrando así una económica reparación, mantenimiento y conservación de los viales, ya que las mismas constituyen la red de comunicación principal entre los diferentes municipios de la provincia y el resto del país.

Se determinaron 3 tipos de riesgos: geológicos, hidrológicos y por otras causas, describiéndose un total de 682 riesgos, distribuidos de la siguiente forma: 255 pertenecen a riesgos por fenómenos geológicos, 86 a riesgos hidrológicos y 341 a riesgos por otras causas. Se procesaron en el laboratorio 43 muestras alteradas y 21 semialteradas. Además se tomaron 231 fotos en 20 carreteras. Para cada carretera se realizó un expediente el cual agrupa los principales aspectos relacionados con la misma.

Los riesgos por fenómenos geológicos que mayor incidencia tienen en las carreteras son los asentamientos, erosión, derrumbe y desprendimientos de rocas.

Los riesgos por otras causas que influyen en las carreteras son: alcantarillas obstruidas, cauces obstruidos en la entrada y/o salida, puentes con problemas estructurales, problema con la capa de rodamiento.

Con toda la información recogida, se confeccionó la cartografía digital de la provincia, se crearon varias bases de datos y se preparó en un Sistema de Información Geográfica, lo que permite la actualización de todos los riesgos, realizar consultas y confeccionar mapas temáticos de riesgo como: por fenómenos geológicos, erosión, asentamiento, inundación por vertimientos de presas, capacidad de conducción de alcantarillas y puentes y vulnerabilidad.

### ABSTRACT

This work describes the solution and identification of the geological risks that affect the 26 No. roads of national interest in our province, in this way achieving an economical repair, maintenance and conservation of the road, since they are principal part of our province and national communication network.

It were established three kinds of risks: 1- geologicals, 2- hydrological and 3- another for different causes, describiny a total of 682 risks arrayyed of the following way: 255 belong to risks by geologies phenomenons, 66 to hydrologics risks and 341 risks for another causes. 43 altered samples and 21 semialtered samples were processed in the laboratory,



basides 231 photos in 20 roads were taken, for each one was made arecord with all the principal aspects.

According to the geologicals phenomenons the features of bigger incidence on the roads were the settaments, erosion, folldoon and rocks separation.

The risks for another causes that have influence on the roads are: 1- culver block, 2- river bed block at the begging or at the end, 3- structural bridge problems and 4- road surface problems.

With all the information colected is carried out a digital cartographic map of the province, it was carried out some database and was prepared a Geographic Information System (GIS) by mean of which letus to upgrade the risks, to make easy and fast consultations and to make thematic map of risks like: by geologicals phenomenon, erosion, settlement flooding by the dams emptying, conduct capacity of the bridges and sewer and vulnerability.

## INTRODUCCION

El presente trabajo surge por la necesidad de estudiar los viales de interés nacional en la provincia, debido al gran deterioro en algunas carreteras, para lograr una económica reparación, mantenimiento y conservación de los viales, ya que los mismos constituyen la red de comunicación entre los diferentes municipios de la provincia y el resto del país.

La provincia de Granma se ubica en la región Sur Oriental de Cuba limitada por las siguientes provincias: al norte por Las Tunas, al noreste por Holguín, al sureste por Santiago de Cuba, al sur por el Mar Caribe y al oeste por el Golfo de Guacanayabo. La misma tiene una superficie territorial de 8 379.8 km<sup>2</sup> que equivalen a un 7.5 % de la superficie nacional.

La provincia cuenta con 26 carreteras de interés nacional, ocupando una longitud de 689.2 km, distribuidos de la siguiente forma: 19 enlazan los diferentes municipios (13) o lugares históricos del territorio, 4 accesos a los CAI, acceso al aeropuerto de Manzanillo, acceso al Monumento de Dos Ríos y acceso al Centro de Carga. Además del total, 5 pertenecen a la zona montañosa.

## MATERIALES Y METODOS

Para la identificación de los riesgos presentes en las carreteras se realizaron recorridos de campos a cada uno de los viales, donde se describieron detalladamente los puntos con riesgos y se tomaron muestras de suelos semialteradas y alteradas a los riesgos relacionados con la erosión fundamentalmente.

Para conocer la capacidad de conducción del cauce se realizaron perfiles topográficos transversales, aguas arriba y aguas abajo del puente, luego se utilizó la fórmula Chezy - Manning que nos permite calcular los gastos para las diferentes cotas y con su correlación gráfica se obtuvo la curva de gasto.

Conociendo las magnitudes en gasto (m<sup>3</sup>/s) de cada avenida provocada por lluvias (calculados estos por el Método Racional para áreas menores de 60 km<sup>2</sup> y cálculo del escurrimiento máximo basado en la intensidad extrema del escurrimiento y las precipitaciones para áreas mayores de 60 Km<sup>2</sup>) y teniendo la curva de gasto de cada



punto se pueden conocer las cotas que alcanzarán estas avenidas, obteniendo así la cota de inundación en el punto.

Para el cálculo del área de inundación por vertimiento de grandes avenidas de las presas más significativas y viales que se afectan, partimos de la situación más crítica, donde se incluye el vertimiento a máxima capacidad de estas presas y que esté lloviendo en el área complementaria, comprendida ésta entre la presa y el punto sobre la carretera.

Para el cálculo de las cotas que alcanzan los gastos resultantes por puntos de cierre de puentes por carreteras para las probabilidades solicitadas (1, 5, 10 %), se utilizaron programas de computación como el HIDROL y ARELON, además de las hojas cartográficas a escala 1:50 000.

Se diagnosticaron durante los recorridos de campo a las 26 carreteras de interés nacional 441 puntos, encontrándose 671 riesgos distribuidos de la siguiente forma: 262 pertenecen a los riesgos por fenómenos geológicos, 72 a hidrológicos y 337 a riesgos por otras causas.

En el laboratorio se procesaron 43 muestras alteradas y 21 muestras semialteradas correspondiendo a 8 carreteras y 4 canteras, esta última, para su posible utilización en la reparación y mantenimientos de los viales en la fase de estudios preliminares.

Se tomaron fotos a 20 carreteras y a 122 puntos del diagnóstico, abarcando un total de 231 fotos, distribuidas de la siguiente forma: 184 fotos a puntos con riesgos, 4 fotos a canteras, 29 fotos a lugares históricos y turísticos y 14 fotos a problemas con el pavimento y los paseos.

Con toda la información recogida de las carreteras y de los puntos con riesgos por fenómenos geológicos, hidrológicos y por otras causas, entre otros, se crearon varias bases de datos y se preparó en un Sistema de Información Geográfica, lo que permite la actualización de todos los riesgos descritos anteriormente, una mayor facilidad para el manejo de la misma, mayor rapidez en la búsqueda de información, realizar consultas sobre datos específicos de interés y confeccionar distintos mapas temáticos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Patrimonio vial

El patrimonio vial de las carreteras pavimentadas de la provincia se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Patrimonio vial de las carreteras pavimentadas.

Carreteras por Interés	Longitud ( Km )	Valor actual ( MP )	Valor Puentes ( MP )	Valor Total ( MP )
Interés Nacional	687,60	142 979,90	37 179,50	180 154,40
Interés Provincial	66,00	11 829,30	368,90	12 198,30
Interés Municipal	183,60	31 343,90	806,12	32 150,10
Interés Específico	222,90	27 841,30	-	27 841,30
<b>Provincia</b>	<b>1 145,90</b>	<b>203 989,40</b>	<b>38 354,60</b>	<b>252 044,10</b>



## Riesgos por fenómenos geológicos

**Asentamientos:** Tienen su desarrollo principalmente en las zonas llanas de la provincia, aunque se encuentran algunas áreas en zonas montañosas. Se presentan en 20 carreteras ocupando 98 puntos, presentando los mayores problemas las siguientes carreteras: Bayamo - Manzanillo (26), Carretera Central (14), Bayamo - Montero (13) y Miradero - La Sal - Manzanillo (8). Los viales más afectados son: Bayamo - Manzanillo (26), carretera Central (14), Bayamo - Montero (13) y Miradero - La Sal - Manzanillo (8), entre otras.

Las formaciones más desfavorables para que se produzca este fenómeno son los depósitos aluviales, depósitos palustres, formación Cauto y Bayamo, que están constituidas por arcillas, arcillas arenosas, arenas arcillosas, etc.

**Socavación:** Tiene su desarrollo tanto en la zona llana como en la montañosa. Se presenta en 12 carreteras ocupando 41 puntos; siendo las carreteras de mayor incidencia: Entronque Pílon - Pílon (6), Manzanillo - Niquero (5) y Media Luna - Cinco Palmas (5), las demás carreteras están por debajo de estas cifras.

**Erosión:** La ocurrencia de este fenómeno depende de la litología, precipitaciones, pendientes y usos de suelo. Se presenta en 14 carreteras ocupando un total de 33 puntos, perteneciendo los mayores problemas a la carretera Granma (5), Bayamo - Manzanillo (4), y Bayamo - Montero (4), entre otras.

**Erosión en cárcavas:** Este fenómeno ocurre producto de la misma erosión y en dependencia de su intensidad. Se presenta en 11 carreteras ocupando 27 puntos, siendo la carretera de mayor incidencia: Masó - Marea del Portillo (6), Entronque Pílon - Pílon (4) y Bayamo - Manzanillo (3).

En los riesgos de erosión (socavación, erosión y formación de cárcavas) intervienen 17 carreteras para un 65.0 %, ejerciendo su mayor influencia en los viales: Entronque Pílon - Pílon y Masó - Marea del Portillo (6) cada una, Granma, Manzanillo - Niquero, Entronque Bueycito - Buey Arriba y Media Luna - Cinco Palmas (5) cada una, Bayamo - Manzanillo, Bayamo - Montero y Miradero - La Sal - Manzanillo (4) cada una, entre otras.

Las zonas o áreas con mayor riesgo de erosión se encuentra en la carretera Bayamo - Manzanillo en el punto de la Mambisa, donde la misma se encuentra pegado a la calzada, otros de los puntos peligrosos se encuentra en la carretera Central después del poblado de Cauto Cristo en la margen derecha, se presenta en forma de cárcava a una distancia de la calzada de 0.50 m., en la carretera Granma existe otra zona de gran erosión producto de las olas del mar y se encuentra de la calzada a 0.50 m y una altura de 2.0 - 3.0 m y una longitud de alrededor de 500 m.

**Derrumbe y desprendimiento de rocas:** Estos problemas están asociados a zonas montañosas, donde existen taludes con altas pendientes; se presentan en 5 carreteras ocupando 23 puntos. Los viales en que más inciden son: Masó - Providencia - La Plata (8), Masó - Marea del Portillo (5), Guisa - Victorino (4), entre otras.





**Empantanamiento:** Este fenómeno tiene su desarrollo en la zona llana fundamentalmente. Se presenta en 10 carreteras ocupando 19 puntos representado por las carreteras Cauto Embarcadero – Río Cauto (6) Bayamo – Manzanillo (3), Tunas – Bayamo (2), entre otras.

**Deslizamiento de suelos y rocas:** Este fenómeno se desarrolla en la zona montañosa asociado a taludes con altas pendientes. Se presenta en 4 carreteras localizándose 9 puntos correspondiendo a las carreteras Masó - Marea del Portillo y Masó – Providencia – La Plata (3) entre otras.

**Penetración del mar:** Se presentan en 2 carreteras ocupando 6 puntos relacionados con las carreteras Niquero - Cabo Cruz (5) y Granma (1).

**Manantiales asociados a carso:** Se desarrolla en 2 carreteras encontrándose 4 puntos asociados a las carreteras: Entronque de Guisa – Guisa y Guisa –Victorino (2) respectivamente.

**Manantiales asociados a zonas tectónicas:** Se presenta solamente en la carretera Bayamo – Montero (2).

#### **Riesgos de inundación por capacidad de conducción de puentes y alcantarillas.**

En los viales de la provincia existen un total de 16 puentes con problemas de inundación, en la mayoría de los casos presentan obstrucción en las luces, encontrándose parcialmente selladas, lo que provoca que el tiempo de evacuación de las avenidas sea más lento.

De estos 16 puentes, 6 están diseñados para que evacuen un gasto del 10 % de probabilidad, distribuidos en las siguientes carreteras: Central (3), Bayamo-Manzanillo (1), Miradero-La Sal-Manzanillo (1) y Jiguaní-San Germán (1). Los 10 puentes restantes son de estiaje, diseñados para que no evacuen avenidas, por lo que afectan los siguientes viales: Media Luna-Cinco Palmas (6), Entronque Guisa-Guisa (2), Guisa-Victorino (1) y Jiguaní-San Germán (1).

Existen además 45 alcantarillas con problemas de evacuación de avenidas, provocando inundaciones y empantanamientos, esto se debe a obstrucción por depósitos de sedimentos, rotura de su estructura, enyerbamiento y selladas por la mano del hombre.

De estas alcantarillas, 31 están diseñadas para que evacuen avenidas del 10 % de probabilidad y se encuentran en los viales que a continuación relacionamos: Manzanillo-Niquero (6), Miradero-La Sal-Manzanillo (4), Granma (3), Entronque Guisa-Guisa (3), Niquero-Cabo Cruz (3), Central (2), Bayamo-Manzanillo (2), Bayamo-Montero (2), Entronque Pilón-Pilón (1), Guisa-Victorino (1), Masó-Providencia-La Plata (1), Media Luna-Cinco Palmas (1), Jiguaní-San Germán (1) y Santa Rita-Mina Harlem (1).

Las 13 alcantarillas restantes no evacuan avenidas, debiéndose rediseñar y pertenecen a las carreteras: Central (3), acceso Arquímedes Colina (3), Entronque Bueycito-Buey Arriba (2), Media Luna-Cinco Palmas (2), Santa Rita- Mina Harlem (2), Manzanillo-Niquero (1), Guisa-Victorino (1) y acceso Centro de Carga (1).



## Riesgos de inundaciones por vertimientos de presas

En la provincia contamos con 10 embalses y solamente los vertimientos interceptan 8 de los viales en 14 puentes distribuidos en las siguientes carreteras: Bayamo-Manzanillo (4), Miradero-La Sal-Manzanillo (3), Central (2), acceso CAI Arquímedes Colina (1), Bayamo-Montero (1), Manzanillo-Niquero (1), Masó-Marea del Portillo (1). También es afectado el vial de Jiguaní-San Germán por los vertimientos del embalse Carlos Manuel de Céspedes a través del río Contramaestre en el puente de Dos Ríos, esta presa pertenece a Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba.

De los 14 puentes antes mencionados solamente en 5 de ellos se producen inundaciones por los vertimientos de presas para las probabilidades del 10 %, distribuidos en las siguientes carreteras: Miradero-La Sal-Manzanillo (2), Central (1), Bayamo-Manzanillo (1) y Jiguaní-San Germán (1)

## Riesgos por otras causas

En este punto se relacionan los riesgos que no corresponden con riesgos geológicos e hidrológicos, sino los producidos por otras causas como:

**Alcantarillas obstruidas:** Se presenta en 19 carreteras con un total de 107 puntos, siendo las de mayor incidencia: Manzanillo – Niquero (25), Miradero - La Sal - Manzanillo (24), Entronque Bueycito – Buey Arriba (11), entre otras.

**Cauces obstruidos en la entrada y/o salida:** Se presentan en 16 carreteras ocupando 89 puntos. Las carreteras que más inciden son: Bayamo – Manzanillo (18), Miradero - La Sal – Manzanillo (14), Central, Manzanillo – Niquero y Entronque Bueycito - Buey Arriba (9), entre otras.

**Puentes con problemas estructurales** (se incluyen aceros expuestos, grietas, juntas con problemas, losas de aproches, etc.). Se presenta en 14 carreteras ocupando un total de 43 puntos, encontrándose las carreteras: Bayamo – Montero (6), Manzanillo – Niquero, Granma y Miradero – La Sal – Manzanillo (5) cada una, entre otras.

**Problemas con la capa de rodamiento:** Se presenta en 14 carreteras con 32, perteneciendo los mayores valores a los viales: Miradero – La Sal – Manzanillo y Acc. CAI Arquímedes Colina (5), Manzanillo – Niquero (4), Cauto Embarcadero – Río Cauto y Niquero – Cabo Cruz (3), entre otras.

**Alcantarillas con problemas estructurales** (se incluyen aceros expuestos, grietas, alerones, muro, tubos rotos, etc): Se presenta en 7 carreteras ocupando un total de 21 puntos afectando los viales: Ent. Bueycito – Buey Arriba (11), Tunas – Bayamo, Ent. Pilon – Pilon, Yara – Masó y Niquero Cabo – Cruz (2) cada uno, entre otras.

**Alcantarillas con cotas de invertida por debajo de la cota de salida del cauce:** Se presenta en 10 carreteras con 19 puntos, perteneciendo a los viales: Bayamo – Montero



(5), Bayamo – Manzanillo (3), Ent. Bueycito – Buey Arriba, Niquero – Cabo Cruz y Acc. CAI Ranulfo Leyva (2) cada uno, entre otras.

**Canal o laguna cercano a la carretera:** Se presenta en 5 viales ocupando 14 puntos ubicados en las carreteras: Central (6), Tunas – Bayamo (3), Bayamo – Manzanillo y Manzanillo – Niquero (2) cada una y Cauto Embarcadero – Río Cauto (1).

**Puentes con obstrucción de luces:** Se presenta en 8 carreteras con 12 puntos perteneciendo a las carreteras: Guisa – Victorino y Media Luna – Cinco Palmas (3) cada una, el resto presentan (1).

## CONCLUSIONES

1. Se diagnosticaron 671 riesgos distribuidos en 441 puntos en las 26 carreteras de interés nacional de la provincia, correspondiendo 262 a los fenómenos geológicos, 72 a hidrológicos y 337 a riesgos por otras causas.
2. Se confeccionó un expediente por carreteras donde recoge los principales aspectos relacionados con la misma.
3. Los fenómenos geológicos que mayor incidencia tienen en las carreteras son los asentamientos, erosión, derrumbe y desprendimientos de rocas, empantanamientos, deslizamientos de suelos y rocas, penetración del mar y manantiales tanto asociados a carso como a zonas tectónicas.
4. Los riesgos por otras causas que influyen en las carreteras son: alcantarillas obstruidas, cauces obstruidos en la entrada y/o salida y puentes con problemas estructurales, problema con la capa de rodamiento, alcantarillas con problemas estructurales, alcantarillas con cotas de invertida por debajo de la cota de salida del cauce, canal o laguna cercano a la carretera y puentes con obstrucción de luces.
5. Los riesgos hidrológicos fundamentales están relacionados con inundación por capacidad de conducción de puentes y alcantarillas y vertimientos de presas.
6. Las carreteras están sustentadas sobre 18 formaciones geológicas de diferentes composición y propiedades geotécnicas, siendo las más desfavorable por su constitución arcillosa, areno arcillosa y arcilla arenosa, los Depósitos aluviales y las formaciones Cauto y Bayamo.
7. En la mayoría de las carreteras existen problemas con los paseos y las cunetas que no están bien conformadas o no existen.

## BIBLIOGRAFIA.

- Alexeev, G. A. y V. S. Riazanov, 1973. Calculo del escurrimiento máximo basado en la intensidad extrema del escurrimiento y las precipitaciones. Monografía, Grupo Hidráulico D. A. P.
- Guerra, R., J. Almirall, A. Triana, 1994. Caracterización ingeniero geológica e hidrogeológica de la Formación Cauto. Departamento de Ingeniería Geológica, Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos, Bayamo.
- Guerra, R., J. Almirall, A. Triana, 1995. Caracterización ingeniero geológica e hidrogeológica de la Cuenca Hidrográfica del Cauto y otros aspectos en la provincia Granma. Departamento de Ingeniería Geológica, Centro de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos, Bayamo.

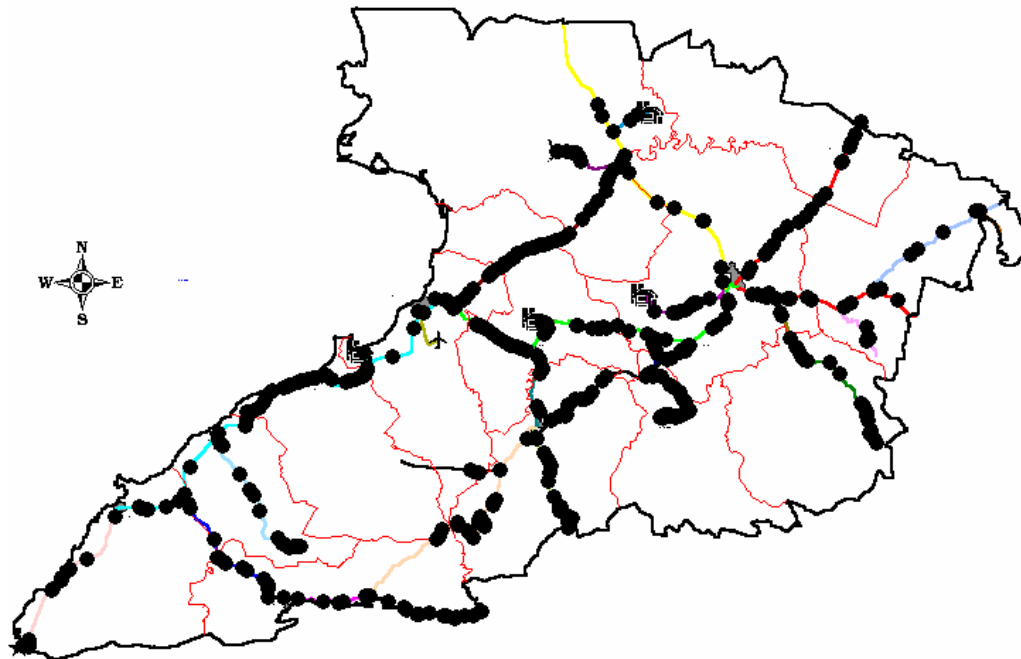


Fig. 1. Ubicación de los puntos con riesgos en las carreteras.

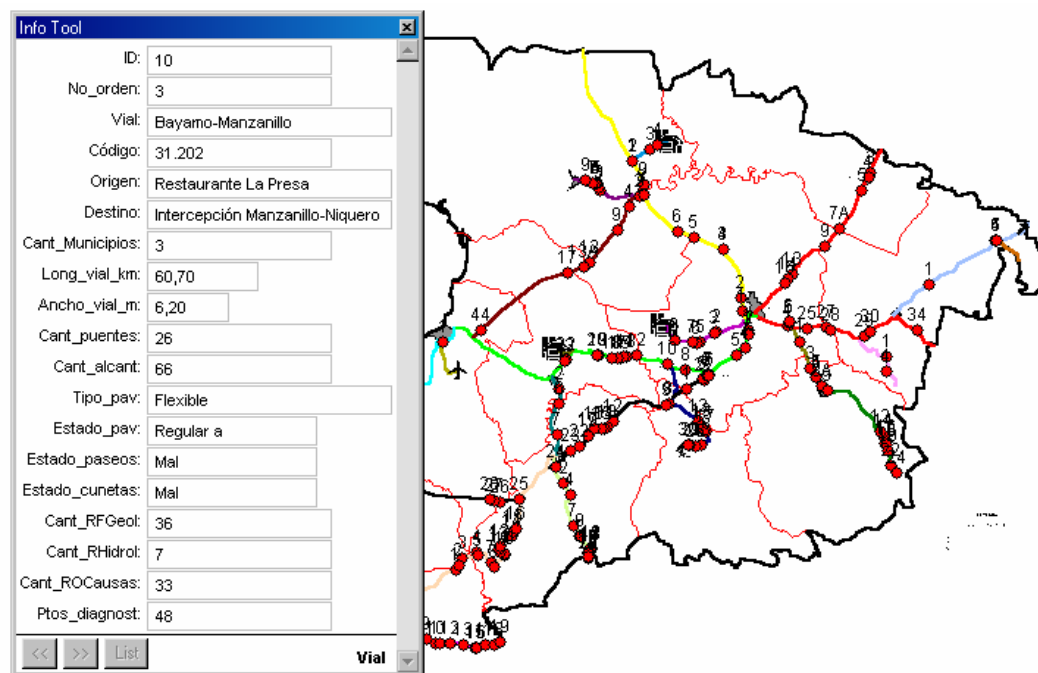


Fig. 2. Mapa de riesgos por fenómenos geológicos y base de datos de las carreteras en sistema de información geográfica.



## **DETERMINACIÓN ANALÍTICA Y EXPERIMENTAL DE PERÍODOS FUNDAMENTALES DE LOS SUELOS DE LA CALDERA (ARGENTINA)**

Jorge Torres (1), Lía Orosco (2), José Morales (3), José Viramonte (2)

- (1) Secretaría de Medio Ambiente de la Provincia de Salta (Argentina)
- (2) Consejo de Investigación - Universidad Nacional de Salta (Argentina)
- (3) Instituto Andaluz de Geofísica – Granada (España)

El siguiente trabajo muestra los resultados de un estudio de determinación de características dinámicas de los suelos en la localidad de La Caldera situada a 24 km al norte de la Ciudad de Salta, Capital de la Provincia del mismo nombre. Tal estudio se realizó en forma analítica y experimental con el fin de conocer las particularidades de la respuesta de los distintos sitios de este emplazamiento urbano a posibles eventos sísmicos ya que la zona donde está fundada es sísmicamente activa. Para calcular los períodos dominantes se utiliza el análisis espectral del ruido ambiente o microvibraciones, tanto en técnicas de Nakamura como de espectro simple.

A tal efecto, se compararon las respuestas en sitios ubicados en distintos niveles altimétricos y en diferentes tipos de suelos, a fin de evaluar la incidencia en la respuesta dinámica de los mismos, de aspectos geotécnicos y topográficos.

Los valores encontrados fueron volcados en un mapa de la localidad bajo estudio, lo que permite la elaboración de un mapa de peligrosidad sísmica en término de períodos dominantes y comenzar así a realizar aproximaciones al riesgo sísmico estudiando la vulnerabilidad de los edificios de la zona, etapa que se completará posteriormente.



## COMPILACION DE GEOLOGIA ESTRUCTURAL DE LA PROVINCIA GRANMA Y SUS IMPLICACIONES EN LA SISMISIDAD

**Artemio Salazar Díaz<sup>(1)</sup>**

(1) Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos. Granma. Calle Amado Estévez S/N Rpto Jesús Menéndez Bayamo. Granma

### RESUMEN

El territorio de Cuba Suboriental al cual pertenece la provincia, es considerado el de mayor peligrosidad sísmica del país, ocupa una posición geodinámica única en la región del caribe, en la zona de interacción inter placas y bajo la acción independiente y conjunta de diversos mecanismos geotectónicos en el transcurso de su evolución geológica estructural.

En tal sentido actualizar, reunir y ordenar información sobre la geología estructural de la provincia que de forma dispersa aparecen en investigaciones y estudios en la provincia y áreas cercanas a la misma, teniendo en cuenta las teorías más recientes que explican la evolución de la corteza el origen y desarrollo de los arcos insulares y plataformas continentales es el objetivo del presente trabajo encaminado a caracterizar las principales estructuras del territorio, la correlación de su geodinámica y la sismicidad con la estructura profunda de la corteza terrestre.

### ABSTRACT

The southwest of Cuba in which Granma Province is located is considered the most dangerous of the seismic parts of the country with an unique geodynamic position in the Caribbean area, in the zone of interaction plate that have been affected by independent and altogether geotectonic mechanisms all through its geological and structural evolution.

Taking into consideration all the details given above the objective of this work is to update gather and keep all the information found in books and scientific works about Granma structural geology and its surrounding areas applying recent theories that explain the evolution of the, the origin and development of the volcanic arcs and continental platforms. This work is also aimed to characterize the main structures and the correlation its geodynamic and seismic activity with the deep structure of earth surface.

### INTRODUCCION

La provincia de Granma tiene un menor nivel de estudio Geológico- Estructural comparado con otras provincias del país, esos estudios datan de los años 70 y finales de los 80 del pasado siglo, estando en partes desactualizados, de acuerdo a las nuevas concepciones e investigaciones realizadas a la luz de la nueva tectónica de placa. En tal sentido actualizar, reunir y ordenar la información sobre la geología estructural que de forma dispersa aparece en publicaciones, informes de investigaciones y estudios sobre la provincia, teniendo en cuenta las teorías más recientes que explican la evolución de la corteza, el origen y desarrollo de los arcos insulares y plataformas continentales, es el objetivo del presente trabajo, encaminado a caracterizar las principales estructuras del territorio, la correlación de su Geodinámica y la sismicidad con la estructura profunda de la corteza terrestre. Lo que permitirá a los profesionales de la geociencias de la provincia contar con un estudio que los motive a investigar nuestra constitución geológica, orientados hacia la solución de interrogantes que aún persisten en el territorio y que de su conocimiento contribuirá al esclarecimiento de la geología de Cuba oriental que por ser





menos conocidas que la del resto del país, ha traído consigo la elaboración de diferentes hipótesis geotectónicas, geofísicas, y geodinámicas.

## MATERIALES Y METODOS

Para la realización del presente trabajo fue necesario reunir la información sobre la geología estructural existente en la provincia, realizándose una búsqueda bibliográfica en artículos, informes e investigaciones realizadas en la provincia y áreas cercanas a la misma, que nos permitiera actualizar y adecuar la información, partiendo del análisis valorativo crítico de los esquemas estratigráficos establecidos con anterioridad y teniendo en cuenta las teorías mas recientes a la luz de la nueva tectónicas de placas .

## RESULTADOS

- Se logra caracterizar las principales estructuras del territorio.
- Los procesos geodinámicos ocurridos a lo largo de la evolución geológica d la provincia, que han determinado el surgimiento y desarrollo de las estructuras de hoy en día.
- La correlación de la Geodinámica y la sismicidad con la estructura profunda de la corteza terrestre.

## DISCUSION

Partiendo del análisis valorativo de los esquemas estratigráficos y paleo geográficos establecidos con anterioridad y teniendo en cuenta las teorías mas recientes que explican la evolución de la corteza y el origen y desarrollo de los arcos insulares y plataformas continentales, proponemos un esquema estratigráfico basado en Asociaciones Estructuro Formacionales, las misma no son mas que combinaciones naturales y regulares de rocas, asociadas por la comunidad de origen que surgen en determinados estadios del desarrollo de las zonas estructurales, revelando la estrecha relación que existe entre secuencias rocosas y la estructuras como efecto de los procesos geológicos, por ser representativo de etapas bien definidas del proceso evolutivo que marcan cambios importantes del desarrollo geológico de la región. Considerando que el esquema estratigráfico propuesto tiene un carácter integrador, en comparación al de Asociaciones Estructuro Faciales, empleado en la provincia y que data de 1976 del levantamiento de la brigada CUBA—HUNGARA.

Estando presentes tres Asociaciones Estructuro Formacional (AEF), fundamentales en el desarrollo paleoestructural de la provincia, ellas son. AEF del arco insular magmático del cretácico, que representa estratigráficamente las rocas más antiguas que afloran en forma de ventanas tectónicas, la Asociación Estructuro Formacional del arco insular magmático del paleógeno o neoarco que aflora a lo largo y ancho del sistema montañoso de la Sierra Maestra, y la tercera AEF presente es la correspondiente a la etapa platafórmica que es la que alcanza mayor distribución en la región.

En la actualidad es bien aceptado para Cuba el modelo profundo de constitución geológica que establece la presencia de una litosfera anormalmente delgada con espesores de corteza variable [Shein y otros 1981), plantearon la existencia de una capa supraastenosférica con espesores de hasta 30 Km. En las regiones occidentales, acunándose hacia las orientales donde estimaron valores cercanos a los 20 Km. . La



geología de la parte oriental de Cuba por ser menos conocidas que la del resto del país tiende a ser simplificada, este territorio difiere del resto de país, no solo por la presencia de los arcos volcánicos del cretácico y del paleógeno, además están presentes características geólogo- estructural, así como del campo físico atípicos al resto del país que hacen de Cuba Oriental un modelo para la elaboración de diferentes hipótesis, que independientemente de una u otra concepción todas las investigaciones muestran que la corteza de Cuba Oriental ,tiene una estructura totalmente diferente esta unidad al cuerpo principal del archipiélago cubano, como un cuerpo extraño, esta separado de este último por la zona Guacanayabo- Cauto – Nipe , que representa el cierre oriental de la depresión de una corteza de tres capas mas delgadas de tipo suboceánica y con espesor de 13-20 Km., en lo que se refiere al relieve es una llanura joven que ocupa la depresión graben de igual nombre . La macromorfoestructura del sistema montañoso de la Sierra Maestra también esta representada por una corteza de tipo transitoria, con espesores de 16-24 Km. y por el complejo vulcanógeno del arco insular paleógeno, que esta desplazado al norte en 30-50 Km., por una falla de sobrecojamiento. Aquí la superficie d Mohorovicic alcanza 5 Km. [ Bovenko et al, 1986).

La megamorfoestructura de la fosa de Bartlett se corresponde con una corteza de tipo soboceánica y oceánica cuyos espesores son de 5-7 a 10- 12 Km. De esta forma se observa una clara interrelación de las principales estructuras longitudinales de Cuba Suboriental con los elementos heterogéneos de la corteza terrestre, la misma está fraccionada por fallas inclinadas en bloques de diferentes alturas, las cuales encuentran un reflejo directo en la mesomorfoestructuras, de acuerdo a los datos sísmicos y gravimétricos generalizados por Busch 1986 de acuerdo a los datos de la estación Tierra, se observa bien la facturación de todas las capas principales de la corteza , por medio de fallas profundas y su correspondencia con la diferenciación espacial de las morfoestructuras longitudinales y transversales de orden inferiores, dentro de los límites de la Sierra Maestra las relaciones del relieve con la estructura profunda es estrecha, lo que revela una clara correspondencia de los desplazamiento verticales de los bloques de la Corteza Terrestre con el mesobloque central de montañas medias y el oriental de montañas bajas.

Al mismo tiempo el buzamiento monoclinal general del relieve de la Sierra Maestra hacia el norte es diametralmente contrario a la estructura profunda de la Corteza Terrestre e indica el carácter de neoformación y superposición de las tendencias de los movimientos geotectónicos. El límite de la Sierra Maestra con la depresión graben Cauto constituye una división de zonas con una estructura profunda diferentes características distintas del campo gravimétrico. Un rasgo específico importante de la estructura profunda de la depresión graben es la presencia de un gran diápiro astenosférico, con el cual están relacionado las fallas profundas que limitan la depresión del arco insular septentrional del cretácico y del meridional del paleógeno, la existencia de una antiforma en el relieve profundo ha sido revelada por datos gravimétricos, sísmicos, como magnético [Cuevas 1994 Otero, 1994,( Chag 1992 ). Representando una estructura de primer orden con un papel determinante en el desarrollo geológico de la región, en este sentido la Geodinámica de la formación y desarrollo de las principales estructuras de Cuba Suboriental, se produce no solo por el deslizamiento mutuo y la colisión Inter Placa, sino también por la formación de la antiforma del manto en la zona Cauto- Nipe.

En los finales del Oligoceno y comienzo del Mioceno, tuvo lugar la abertura de la fosa profunda de Bartlett con un intenso movimiento de desplazamiento lateral siniestro a lo largo de la zona de sutura, este proceso condujo a la deformación de las Asociaciones



Estructuras Formacionales, en rasgos generales la etapa neotectónica se caracterizó por una tendencia a la complejidad de las estructuras, al fracturamiento general de las (AEF), a la diferenciación contrastante tanto de los movimientos verticales como de los horizontales y al ascenso del territorio. De esta manera, ya en la etapa neotectónica temprano la estructura del arco insular estuvo transformada en un manto de charriage alóctono, en gran parte deformada y denudada y en su base meridional, tuvo lugar el comienzo de la formación de la paleó fosa profunda, cuya articulación con el relieve de tierra firme ya se caracteriza por su carácter contrastante.

Como resultado de la interpretación de los mapas batimétricos, magnéticos y gravimétricos de la fosa profunda de Bartlett –Caimán, conjuntamente con las bases teóricas de la estructura o patrones asociados a falla rumbo deslizante y al análisis de la sismicidad asociada a la zona límite de placas los autores ( 2 ), llegan a la conclusión de que en la región de estudio ocurren tres procesos geodinámicos, como consecuencias del movimiento lateral izquierdo de la placa de Norteamérica con relación a la placa Caribe entre los 75° 30' y los 78° 20' de longitud Oeste, definiendo cada uno de estos procesos la características de la sismicidad en la región.

#### PRIMER PROCESO:

En el sector situado alrededor de los 78° 00' LW y los 19° 35' de LN donde se encuentra la cuenca de Cabo Cruz, se interpreta como una estructura del tipo “ pull apart basin “, formado como resultado de un proceso TRANSTENSIVO, a partir del desplazamiento hacia la izquierda de la placa Norteamericana en una inflexión de la falla principal, en esta zona se evidencia una complejidad tectónica considerable, caracterizada por una estructura tipo horts situada inmediatamente al este de la cuenca de Cabo Cruz con una dirección de 45° NE, limitadas ambas estructuras( el graben y el horts ), por dos probables zona de fallas paralelas que continúan al Este.

#### SEGUNDO PROCESO:

Al Este de la zona transtensiva en el sector comprendido entre los 77° 45' y los 76° 50' de LW, Y A LOS 19° 30' de LN. En este sector ocurre un deslizamiento por el rumbo “puro “, sin prácticamente ningún proceso geodinámico secundario de consideración. Sin embargo entre los 77° 10' y los 77° 15', se interpreta como un pequeño desplazamiento de esta falla por una dislocación de segundo orden de tipo sintética, los procesos sismogénicos no están relacionados directamente a la falla principal rumbo deslizante, sino a los procesos de rupturas del macizo rocoso en las inmediaciones de las costa Cubanas, como resultado de los esfuerzos ocasionados por el movimiento lateral izquierdo de la placa Norteamericana al chocar con la placa Caribe.

#### TERCER PROCESO:

A Este de los 76° 51' Y HASTA LOS 76° 00' de LW, en el sector que se corresponde con la fosa de Bartlett (o Oriente propiamente) , se desarrolla un proceso del tipo extensional ( proceso propuesto por Boulter en 1989 ) relacionado con la apertura de la corteza que pudo haber comenzado al formarse la fosa y continuar hasta nuestros días. Este sector llamado estructura extensional Oriente, la falla principal se encuentra dislocada por fallas de segundo orden del tipo sintéticas, que desplazan a la primera en forma escalonada y la aproximan más al a costa sobre todo entre los 76° 10' y los 76° 00', coincidiendo con una pequeña depresión submarina muy cerca de la localidad de Chi vírico.



Como puede verse la sismicidad no se distribuye de forma homogénea en toda la zona límite de placa al Sur de Cuba, se concentra en dos grandes zonas: al Sur de Cabo Cruz y en las proximidades de la costa Sur entre los 75° 10' y los 76° 50' de LW.

También juega un papel importante en la sismicidad de la provincia la existencia de los morfoalineamientos originados durante la etapa neotectónica del desarrollo del Relieve de la Sierra Maestra que experimento el fraccionamiento de su plano morfoestructural orogénico en grandes mesobloques transverso- diagonales, los cuales están limitados por profundas zonas de morfoalineamientos de carácter regional, donde la intersección de estas con la zona de sutura de la placa Norteamericana y Caribe, representada por la falla Bartlett- Caimán determinan la existencia de nudos Morfoestructurales en los cuales se produce una considerable concentración de epicentros de terremotos, donde la mayoría de esta zonas transverso – diagonales son transcurrentes y atraviesan el borde septentrional de la fosa de Bartlett, el sistema montañoso de la Sierra Maestra y la depresión del Cauto central, originando actividad sísmica hacia el interior y centro de la provincia.

Por lo que la sismicidad para la provincia tiene una particularidad interesante y consiste en el hecho de que en esta región se presenta dos formas de génesis de sismos el de entre placa y el de interior de placa.

## CONCLUSIONES

Este trabajo permitirá a los profesionales de la geociencias de la provincia contar con una información, que los motive y los incentive a la solución e investigación de interrogantes que aún persisten en el terreno de la constitución geológica de la provincia, que permita la elaboración de criterios interdisciplinarios no solo por su interés científico-teórico, sino por la necesidad fundamental de prevenir grandes catástrofe que conlleven cuantiosas pérdidas de recursos humanos y materiales.

## BIBLIOGRAFIA

- Flores, R, G. Millán, J, Chang, C. Pérez, E. Castellano, K. Núñez.1998. Tectónica De Cuba Oriental. Memorias Del 3<sup>er</sup> Congreso Cubano De Geología y Minería (Cuba). (1): 240-243.
- Guasch, F., 2002. Pílon Tierra Que Tiembla, 1, ed. Habana: Academia: 246p.
- Hernández, J. 1989. Geomorfología Estructural Del Sistema Montañoso De La Sierra Maestra y De las Depresiones Graben Adyacentes. ed. Academia. Habana: 31 p.
- Hernández, J., 1990. Principales Nudos Morfoestructurales Sismoactivos De Cuba Sud orintal. Ciencia del espacio y de la tierra (Cuba). (17): 67-76.
- Marqués, M.E. 1998. Caracterización De La Geodinámica Reciente De Cuba Oriental Según Datos De La Nivelación Reiterada. Memorias Del 3<sup>er</sup> Congreso Cubano De Geología y Minería (Cuba) (1):397-399.
- Teneyro, R. J. Álvarez, R, Segura, C, Perera, L, Rodríguez. 1998. Evolución Del Arco Volcánico Cretácico Cubano. Memorias del 3<sup>er</sup> Congreso Cubano De Geología y Minería (Cuba). (2): 259-262.



# EVALUACIÓN DE LOS FENÓMENOS DE DESPRENDIMIENTOS DE BLOQUES EN LAS LADERAS VERTICALES. CASOS DE ESTUDIO

**Ernesto Rocamora Álvarez**

*Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 # 2906 e/ 29 y 31, La Lisa, Ciudad de La Habana, Cuba.  
ZIP 11600. rocamora@iga.cu*

## RESUMEN

La morfología de las regiones cársicas de montaña, las cuales abarcan una gran parte del 65% del territorio cubano representado por carso, constituyen un escenario donde los desprendimientos de bloques representan un fenómeno que alcanza el nivel de peligro potencial.

Estos criterios son detallados a partir de la modelación de dos casos de estudio, uno en la Sierra de los Órganos y el otro en la escarpa del noreste de la provincia de La Habana.

Las trayectorias modeladas de los bloques, tienen un arranque libre, condicionado por la falla de resistencia en las grietas del macizo y su caída es paralela a la pendiente vertical, cuyo primer impacto se produce, o en los conos de derrumbes de la base de estos macizos, o sobre la superficie de fondos de los valles. Estas trayectorias que impactan sobre los detritos acumulados en la base de los escarpe, alcanzan una considerable distancia en su trayecto de rodamiento por la superficie.

A partir de la evaluación de los resultados, se identifican tres cuestiones fundamentales en el estudio de estos movimientos de masas; primero se convierten en una herramienta de pronóstico de la ocurrencia de los fenómenos, permiten una evaluación del peligro potencial que ellos representan y su alcance espacial, y son el método óptimo para el diseño de las medidas ingenieriles de contención del peligro.

## ABSTRACT

The morphology of the mountain karstic regions, which embrace a great part of 65% of the Cuban territory represented by karst, constitute a scenario where the blocks fall represent a phenomenon that reaches the level of potential danger.

These approaches are detailed starting from the modelation of two cases of study, one in the Sierra de los Organos and the other one in the cliff of the northeast of the province La Habana.

The modeling trajectories of the blocks have a free shift, conditioned by the resistance flaw in the cracks of the massif and their fall is parallel to the vertical slope. The first impact takes place in the collapses cones of the massif base or on the surface of the valleys. These blocks that impact on the sediment accumulated in the base of scarps reach a considerable distance in their rolling for the surface.

Starting from the evaluation of these results, three questions are identified in the study of these masses movements; first they become a tool of presage of the occurrence of the phenomenon, they allow an evaluation of the potential danger that they represent, and they are the good method for the design of the measures of contention of the danger.

## INTRODUCCIÓN

A diferencia de los deslizamientos, donde el movimiento ocurre en forma de desplazamiento tangencial sobre una o más superficies, los desprendimientos están representados por el movimiento de una masa de rocas desde una ladera o talud escarpado, donde el desplazamiento tangencial es muy poco o nulo, predominando la caída libre, los rebotes y las rodaduras. Así, a partir de esta caracterización se definen los elementos básicos para establecer el modelo conceptual que describe a este fenómeno físico-geológico de desprendimientos de bloques.



En los desprendimientos, el movimiento de los bloques a lo largo del escarpe rocoso depende de varios factores, cuya expresión numérica se hace muy compleja. Un mayor significado tienen los factores físicos como el buzamiento de los estratos, la inclinación del talud con respecto al agrietamiento y la estratificación, la fracturación y los parámetros de resistencia de la roca a la tracción y compresión.

Por otra parte, las condiciones de estado del macizo y la morfología de las laderas y taludes (verticales o semiverticales), condicionará la dinámica del movimiento de masas y definirá la tipología del fenómeno, diferenciándolo de los procesos erosivos de arrastres de fracciones sólidas.

Así, estas condicionantes del medio acercan la ocurrencia de estos fenómenos, entre otras, a las regiones cársicas de montañas, donde predominan las morfologías citadas, a la vez que son un área importante dentro del 65 % que ocupa el carso en el archipiélago cubano.

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

En estos escenarios donde los desprendimientos de bloques tienen algún nivel de ocurrencia, se han diferenciado tres etapas en las trayectorias de los bloques (Rocamora 2004): arranque, caída y rodamiento, de las cuales la primera tiene un mayor significado dentro de la dinámica general, pudiendo no ocurrir alguna de las restantes. En el estudio sobre la etapa de arranque, el mayor peso informativo lo tienen las condiciones de estado de los factores interventores del fenómeno, que establecen la posibilidad de ocurrencia de los desprendimientos, y que se pueden evaluar sobre la base de una metodología de análisis cualitativo (Rocamora y otros 2001) y de los programas automatizados de análisis de estabilidad de cuñas.

Por su parte, para la etapa de caída como parte de la trayectoria del bloque, su evaluación estará relacionada con la geometría del escarpe y la disipación de energía que provocan los choques del bloque durante su caída, además de su peso, densidad y su velocidad de arranque. En la etapa de rodaje, considerada a partir del cambio en el desplazamiento de los bloques después de la caída, estos pueden resbalar, rodar o rebotar en dependencia de la geometría de del bloque. Este movimiento estará en dependencia de la energía disipada por el efecto de choque bloque-superficie y dependerá de las propiedades físico-mecánicas de los bloques y de la morfología y litología de la superficie. Asimismo, el grado de alteración de las rocas que afloran en la superficie de rodaje, la acumulación de detritos y la vegetación, son los factores principales que condicionan el alcance de esta última etapa del movimiento de los bloques.

La diversidad de situaciones en la amplia gama de posibles trayectorias de caída y los efectos de la fragmentación de los bloques, así como las particularidades de los escenarios de ocurrencia, hacen al fenómeno de desprendimiento de bloques muy difícil de modelar, por lo que se recomienda que su evaluación este basada en la investigación geotécnica, el análisis de factores interventores, el desarrollo de experimentos *in situ* y la aplicación de modelos simplificados de trayectorias de caída.

## CASOS DE ESTUDIO

De acuerdo a los criterios descritos anteriormente, se han realizado evaluaciones de los fenómenos de desprendimientos de bloques en dos polígonos de investigación, que representan escenarios con una morfología cársica de montaña, representada por un escarpe vertical rocoso, donde la distribución espacial del agrietamiento y su relación con el desarrollo





de la carsificación establecen una posibilidad moderada de ocurrencia de desprendimientos de bloques.

Estos polígonos se ubican, el primero en la ladera este de la Sierra de Quemado, Sierra de los Órganos, Pinar del Río y el otro en la escarpa litoral del noreste de la provincia La Habana.

### **Caso de estudio de la Sierra de Quemado (polígono SQ)**

En la ladera este de la Sierra de Quemado se escogió un punto ubicado al Norte de la entrada de la Cueva del Segundo Cauce, Gran Caverna de Santo Tomás (Figura 1), donde la pared vertical tiene una altura de 40 m y en cuya base hay un cono de derrumbe formado por material detrítico, con una inclinación de su superficie de 30-40° hacia el Valle de Santo Tomas con el fondo cubierto por sedimentos arcillosos.



**Figura 1. Morfología del perfil establecido para el polígono de estudio SQ**

Según estudios en la zona (Rocamora y Portuondo 1997 y Rocamora 2002) la distribución del agrietamiento en el macizo está representado por tres familias principales, cuyas direcciones llegan a condicionar la formación de bloques. Por otra parte, de acuerdo a los parámetros geomecánicos del macizo, las grietas tienen aberturas de varios milímetros, sin relleno y con circulación estacional de agua, y cuyo espaciamiento establece que localmente se formen bloques ortogonales con dimensiones que no superan los 1.50 m, particularmente hacia la mitad superior del macizo.

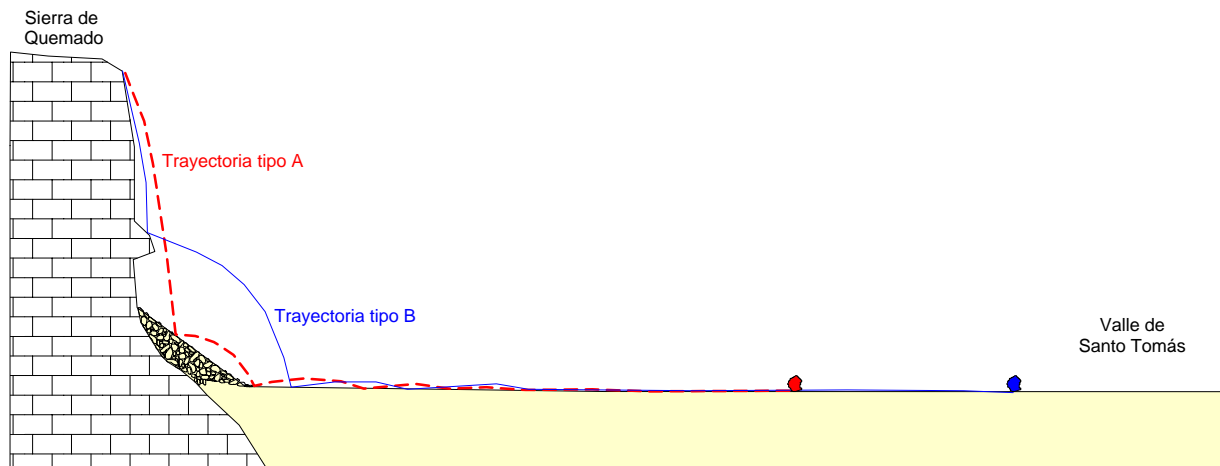
La litología regional está representada por calizas grises, con densidades de hasta 2.40 g/cm<sup>3</sup>, muy duras y densas, propiedades que minimizan significativamente la acción del intemperismo y la fragmentación de los bloques desprendidos por efecto de choques durante la caída.

De esta manera queda establecida la posibilidad de ocurrencia de desprendimientos de bloques desde la parte alta del macizo de la Sierra, que según consideraciones generales, puede tener



un nivel moderado durante eventos extremos de precipitaciones, alcanzando un nivel alto para condiciones dinámicas (terremotos) o por efecto de colapsos de bóvedas cársticas en el interior del macizo de la Sierra.

Descrita las condiciones de la etapa de arranque, las trayectorias de las caídas de los bloques presentan dos tendencias principales (Figura 2), la primera siguiendo una curva de caída cerrada, paralela a la pared del escarpe, mientras que la segunda describe una curva parabólica más abierta, provocada por choques en el trayecto de caída hacia el Valle.



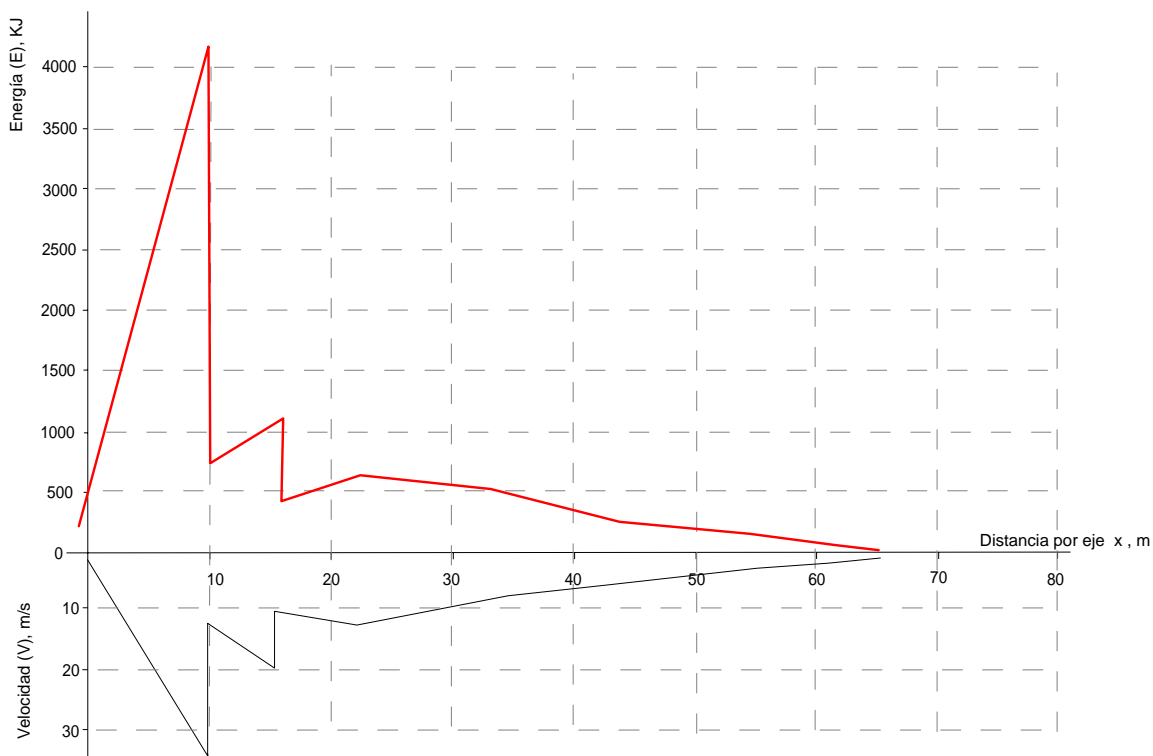
**Figura 2. Trayectorias de caída de los bloques, modeladas para el polígono SQ**

Las trayectorias tipo A (Figura 2 y 3) se caracterizan por un pico máximo de energía al inicio, correspondiente al intervalo de la caída libre, que se disipa bruscamente con el choque sobre el cono de derrumbe provocando el primer rebote, donde se genera otro pico de energía que por lo general alcanza un 30-32% del valor del pico máximo inicial.

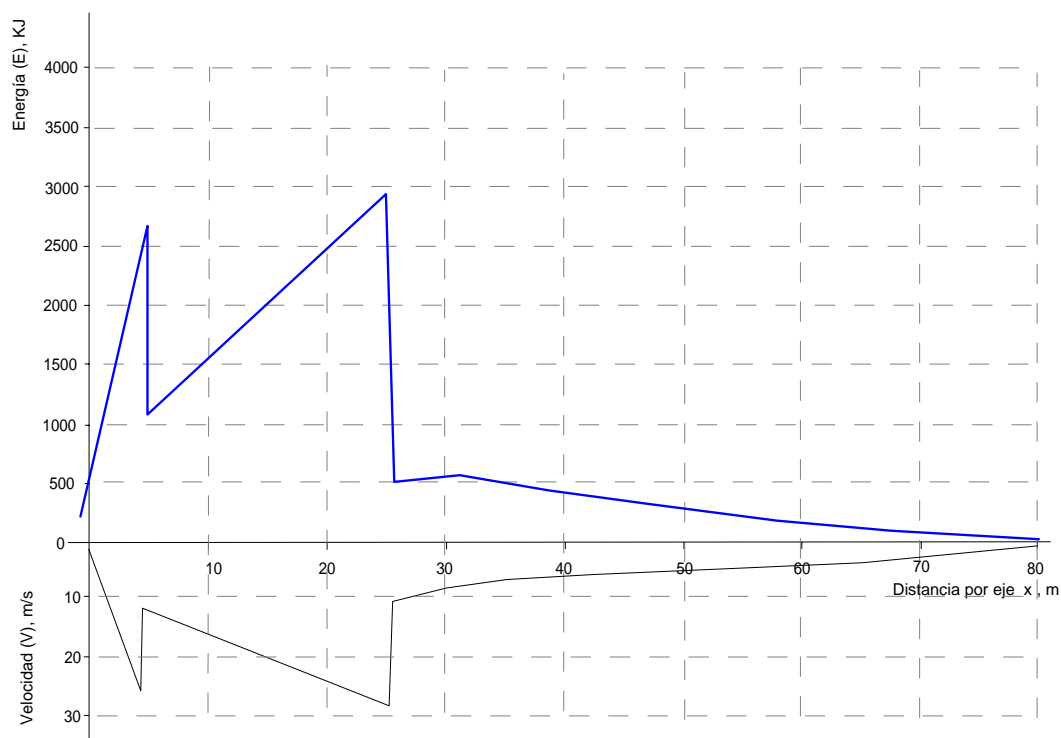
El último tramo de desplazamiento corresponde con el rodamiento, a partir del choque del bloque con la superficie después del primer rebote, donde se produce la disipación del 70% de la energía acumulada. El avance en este tramo alcanza una distancia de algo más de 60 m, donde al ser su velocidad inferior a 0.1 m/s se considera como detenido. El movimiento del bloque en este tramo de rodamiento se produce en forma de una secuencia de parábolas que no sobrepasan la altura de un metro desde la superficie del valle.

El análisis integral de la dinámica de estas trayectorias muestra, como aspecto fundamental, la tendencia progresiva a la disipación de la energía de desplazamiento del bloque, debido a la influencia de los factores impuestos al modelo.

Las trayectorias tipo B muestran una ligera desviación de la dinámica descrita, provocada por un choque del bloque durante su caída libre, la cual estará condicionada a varios factores morfológicos y litológicos del punto de impacto.



**Figura 3. Parámetros de energía y velocidad a través del eje X para las trayectorias tipo A**



**Figura 4. Parámetros de energía y velocidad a través del eje X para las trayectorias tipo B**



En este caso representado (Figura 4), el primer tramo de la caída libre produce un pico de energía, cuya magnitud dependerá de la longitud recorrida, y se disipa bruscamente por el impacto sobre la pared del macizo. Este punto de impacto tiene características litológicas semejantes a las descritas para el macizo y su configuración condiciona una continuidad en la dirección del desplazamiento del bloque, lo cual provoca otra parábola en su trayectoria, que acumula una energía con magnitud ligeramente superior a la del tramo anterior.

Sin embargo, más que la energía que se acumula para este tramo, es significativa la forma de la parábola, muy abierta, lo cual hace que el avance del bloque sobrepase al cono de derrumbe y caiga sobre la superficie plana del valle. El tramo de rodamiento va a tener las mismas características que el caso anterior, pero la distancia recorrida por el bloque será de 20-25 m más larga.

Es importante en la evaluación de la dinámica del fenómeno observar el comportamiento de la energía y la velocidad del bloque en los tramos de caída, muy dependiente a las particularidades del movimiento, que sin embargo para el tramo de rodamiento son muy semejantes, solo diferenciándose en el alcance del bloque.

Es precisamente sobre esta evaluación que el modelo permite identificar los puntos donde la aplicación de medidas de contención es óptima y llegan a ser efectivas para la gran mayoría de situaciones que puedan suceder.

#### **Caso de estudio del escarpe litoral en el noreste de La Habana (polígono H)**

El territorio costero del noreste de la provincia de La Habana tiene una morfología muy peculiar, donde se destaca una terraza marina baja con un ancho que llega a alcanzar los 150 m, y que constituye la superficie base de un escarpe vertical de varias decenas de metros de altura (Figura 5).



**Figura 5. Morfología del perfil seleccionado en el polígono H**

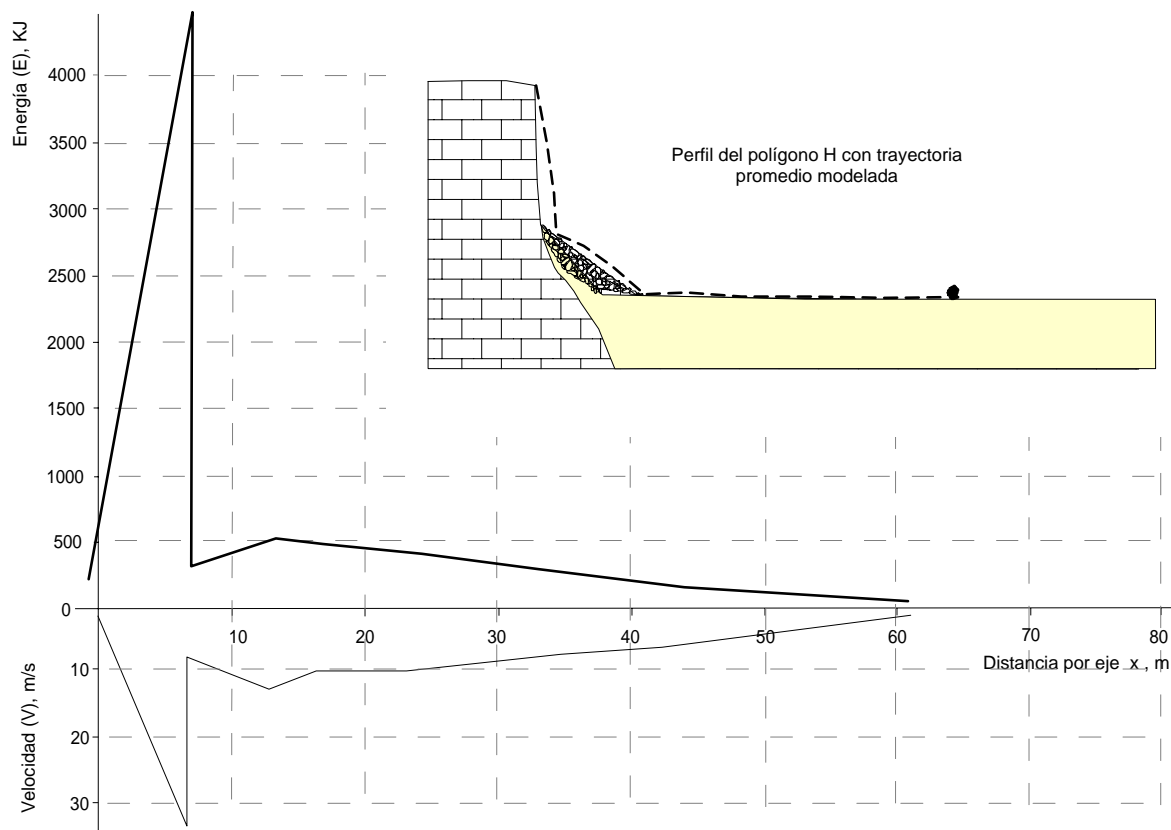


En la base de este escarpe se ha formado un cono de derrumbe con una superficie inclinada de  $25-30^\circ$ , y conformado por la acumulación de material detrítico, donde además se observan aislados bloques que representan paleo-desprendimientos.

En el macizo, el buzamiento de los estratos tiene dirección norte, perpendicular a la distribución del escarpe, relación muy desfavorable para la estabilidad. En caso del ángulo de buzamiento de estos estratos, no sobrepasa los  $20-25^\circ$ , y sus contactos tienen una rugosidad alta, sin relleno y con paredes duras, lo que en cierta medida rechaza el empuje a favor del deslizamiento. El agrietamiento vertical es profundo, llegando a atravesar toda la potencia de los estratos (1.00-1.50 m), con un espaciamiento de 1.00-2.00 m, abertura de hasta 2.00 cm, y al igual que la estratificación, las paredes de estas grietas son muy rugosas y sin rellenos.

El fuerte desarrollo de la carsificación en las rocas calizas que componen el macizo, se refleja en un sistema de cavidades y oquedades, que funcionan como vías de drenaje de las aguas que se infiltran hacia acuíferos profundos.

Durante trabajos ingeniero-geológicos en la región, se hicieron algunas valoraciones sobre las condiciones de estado del macizo y sus propiedades geomecánicas, concluyendo que la posibilidad de ocurrencia de desprendimientos de bloques es de moderada a alta, llegando a muy alta en sectores aislados. No obstante, esta valoración debe completarse con evaluaciones puntuales de detalle por cuanto la variabilidad espacial en las condiciones del macizo y de los factores interventores sobre el fenómeno es muy alta.



**Figura 6. Parámetros de energía y velocidad a través del eje X para la trayectoria promedio modelada para el polígono H**





De la aplicación de los modelos matemáticos se obtuvieron las trayectorias seguidas por los bloques desprendidos, de las cuales se estableció la representación promedio que se muestra en la figura 6. Esta trayectoria tiene una configuración muy semejante a las del tipo A del polígono SQ, donde se describe el pico máximo de energía al inicio del movimiento, en correspondencia con el intervalo de la caída libre. A continuación del impacto de los bloques en el cono de derrumbe, sigue la etapa de rodamiento donde la energía alcanza un valor máximo al inicio que representa el 9% de la registrada en la etapa de caída, disminuyendo a un 5% después de recorrido el 70% de la distancia que alcanzan los bloques.

En total, la distancia máxima alcanzada por los bloques después de rodar por el valle no sobrepasa los 70 m, mientras que la velocidad disminuye desde 32 m/s al inicio hasta 8 m/s después de sobrepasar los 40 m de distancia.

Como un aspecto importante que se observa en las trayectorias modeladas está la altura de las parábolas que describe el bloque en su rodaje por la superficie del valle, las cuales tienen una altura máxima que no sobrepasa los 0.80 m. Sin embargo, este parámetro está muy en dependencia de las dimensiones del bloque, por lo que esta altura puede incrementarse en los sectores iniciales.

En los puntos de ensayos escogidos en el polígono H, existen algunos objetos de obra e instalaciones de la industria del petróleo local, las cuales se ubican dentro del área que puede ser afectada por el rodamiento de los bloques. Sin embargo, al conocer las magnitudes de las propiedades del desplazamiento de estos, las soluciones para la protección a estas instalaciones se vuelven muy eficientes y objetivas.

## CONCLUSIONES

A partir del estudio de varios casos, donde se incluyen los presentados anteriormente, se han logrado establecer varios criterios de evaluación para describir las etapas de arranque, caída y rodamiento de los bloques, las cuales son fundamentales dentro de los fenómenos de desprendimientos.

El grado de conocimiento sobre estos criterios, representados por las propiedades de las rocas, las condiciones de estado del macizo, el agrietamiento, la dinámica de las aguas, la litología de las superficies y la morfología del perfil, es la principal entrada a los modelos de cálculo y los puntos de partida para el análisis matemático de las magnitudes de energía, velocidad y trayectoria de desplazamiento.

El análisis de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, combinado con la interpretación de los parámetros de movimiento de los bloques, hace posible, en primer lugar, establecer las propiedades del peligro y su alcance espacial. En segundo lugar, influir sobre las características de las trayectorias de los bloques, y por último, establecer elementos de contención capaces de absorber la energía de los bloques en dependencia de su ubicación dentro del movimiento de ellos.

Esta evaluación de los fenómenos de desprendimientos de bloques, determinada a partir del análisis de los factores interventores y de la modelación de las trayectorias de caída y rodamiento de los bloques, ha constituido una herramienta muy efectiva aplicada durante las investigaciones ingeniero-geológicas en varios sitios de emplazamiento de las obras ingenieras y en el diseño de barreras de contención.





## BIBLIOGRAFÍA

- Serrano, A. 1999. Morfología de las inestabilidades de taludes. Conferencia al I Master Internacional de Mecánica de suelos e ingeniería de las cimentaciones. Modulo de Geotecnia Vial. CEDEX, España. 22p.
- Rocamora Álvarez, E. y Y. Portuondo López. 1997. Relaciones y particularidades de la fracturación y la carsificación en la Sierra de los Órganos, Pinar del Río, Cuba. En Arellano, Gómez-Martín y Antigüedad, Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba. País Vasco, España. pp 155-164.
- Rocamora Álvarez, E., L. Molerio, M. Guerra, J. Alcalde y J. Olivera. 2001. Pronóstico de riesgo de ocurrencia de fenómenos físico-geológicos a partir de su evaluación ingeniero-geológica. Proyecto del programa Ramal "Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Cubano". Agencia de Medio Ambiente, CITMA.
- Rocamora Alvarez, E. 2002. Some approaches on the prediction of hillsides stability in karstic massif. En Hatzor, K.H. Stability of Rock Structure. Proceeding 5<sup>th</sup> International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation Stability of Ancient and Modern Rock Structures. Ben Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel. Editorial Balkema. 230 p.
- Rocamora Álvarez, E. 2004. Evaluación y pronóstico de la ocurrencia de movimientos de masas en un sector del escarpe litoral Canasí-Puerto Escondido, La Habana, Cuba. Memorias del VII Taller Internacional "Informática y Geociencias". Revista "Memorias de GEOINFO", Ed. IGA.



## INFLUENCIA DE LA GEOLOGIA EN LA CALIDAD DE LAS OBSERVACIONES SISMOLOGICAS.

**Manuel Serrano Herrera.**

*Dpto. Habana. Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS), CITMA, calle 212 # 2906 La Lisa, C. de La Habana. Email: manuel@chcenais.cu*

### Resumen

Se presenta La Sismología como un complejo sistema de información del cual se deriva una diversidad de especializadas e interdisciplinarias tareas de investigación y aplicación.

Se analiza la importancia que tiene el Subsistema de Detección y Registro de la Señal Sísmica (Observaciones Sismológicas) para el conocimiento sismológico.

Se muestran varios ejemplos donde se puede comprobar la relación directa que tiene La Geología del sitio donde se encuentra ubicado el observatorio sismológico sobre la calidad de las observaciones que se realizan en el mismo. Se da una categorización cualitativa de las rocas de acuerdo a como influyen en dicha calidad.

Se señala la importancia que este factor tiene para optimizar el trabajo de un observatorio sismológico.

### Abstract

It is presented the seismology like a complex system of information of which is derived a diversity of specialised and interdisciplinary investigation tasks and application. It is analysed the importance of the subsystem of detection and recording of the seismic signal for the seismic knowledge.

Several examples are shown where it can be proven the direct relationship that has the geology of the place where the seismic observatory is located and the quality of the observations that are carried out in the same one. A qualitative categorisation of the rocks is given according to they influence in this quality.

It is pointed out the importance that this factor has to optimise the work of an seismic observatory.

El objetivo principal de un observatorio Sismológico es el registro de las ondas sísmicas radiadas por las fuentes sísmicas y detectadas por los sensores sísmicos (sismómetros). La Sismología es la ciencia que mayor aporte ha hecho al conocimiento de la estructura interna de La Tierra y continua siendo la herramienta fundamental para la investigación de la cinemática y dinámica de los procesos geológicos a todas las escalas.

El diagrama de la figura 1 nos muestra La Sismología como el análisis de un complejo sistema de información que enlaza a una diversidad de especializadas e interdisciplinarias tareas de investigación y aplicación:

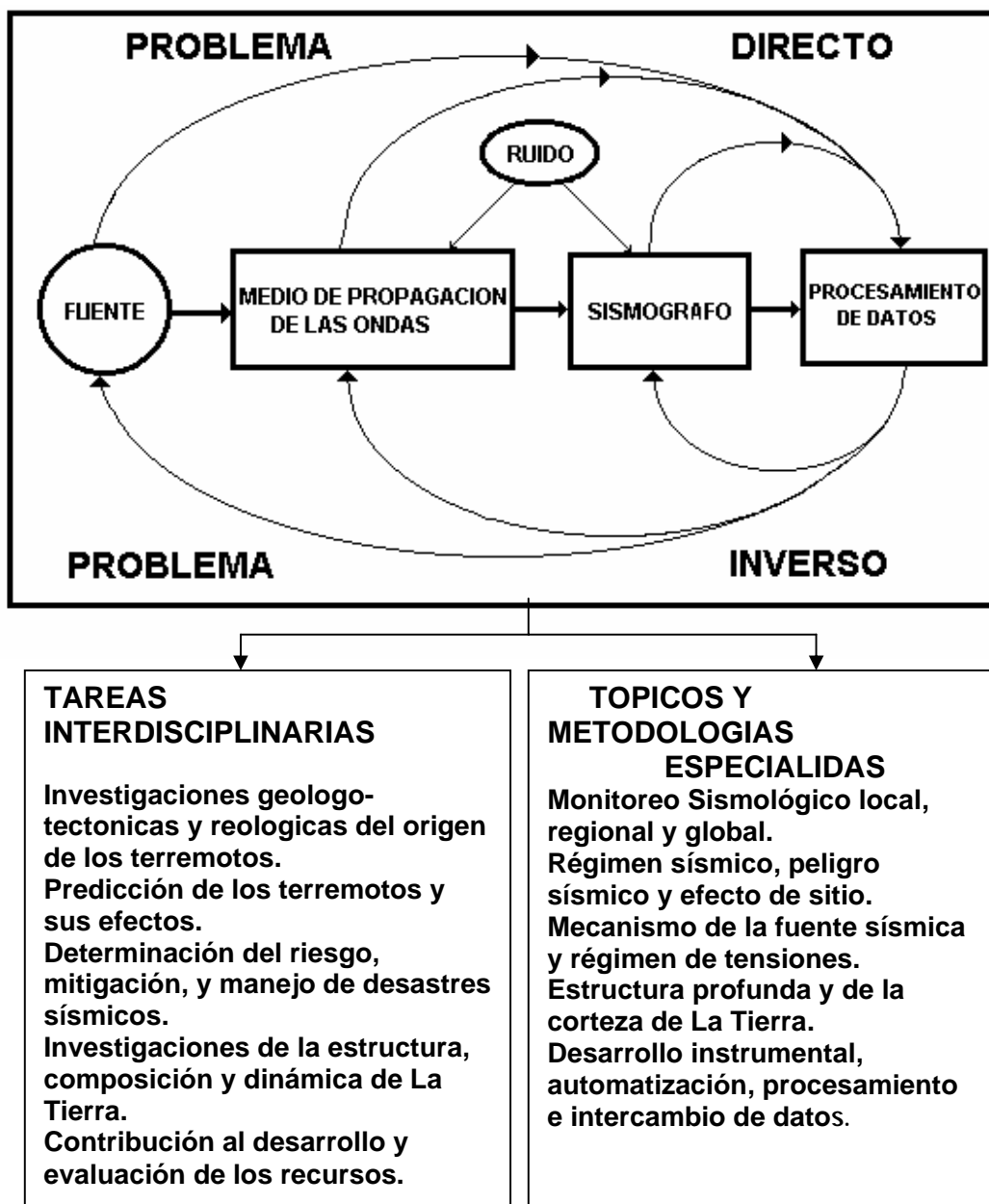


Figura 1. La Sismología como un sistema complejo de información

Una observación mas detallada de la figura nos muestra que el subsistema fundamental de este sistema de información es el sismógrafo (sismómetro + registrador) pues es quien aporta la información básica principal: el sismograma o registro de la información sísmica generada por la fuente sísmica. Es por ello que la calidad con la cual esa información se obtiene es determinante para los resultados que se produzcan del manejo de la información producida por el sistema.

Las causas que determinan la calidad del registro en un observatorio sismológico se pueden recoger en dos grupos: instrumentales y geológicas.

En los últimos 20 años ha habido una revolución en la instrumentación sismologica debido al impacto que sobre la misma han causado dos nuevos equipos: el sismómetro de banda



ancha y la computadora. Esto ha traído el surgimiento de la era de La Sismología Digital . Se ha logrado un incremento extraordinario en las posibilidades de registro, análisis y elaboración de la información sísmica. Este boom en la instrumentación sismológica ha hecho que muchos sismólogos se hayan olvidado de la importancia que tiene la geología en las observaciones sismológicas, ya que un equipo con la tecnología mas avanzada puede ser prácticamente nulo su trabajo si se instala en un lugar inadecuado desde el punto de vista geológico..

En la figura 2 se puede observar como el medio geológico que existe entre la fuente sísmica y el observatorio modifica el cuadro de ondas que se registran.

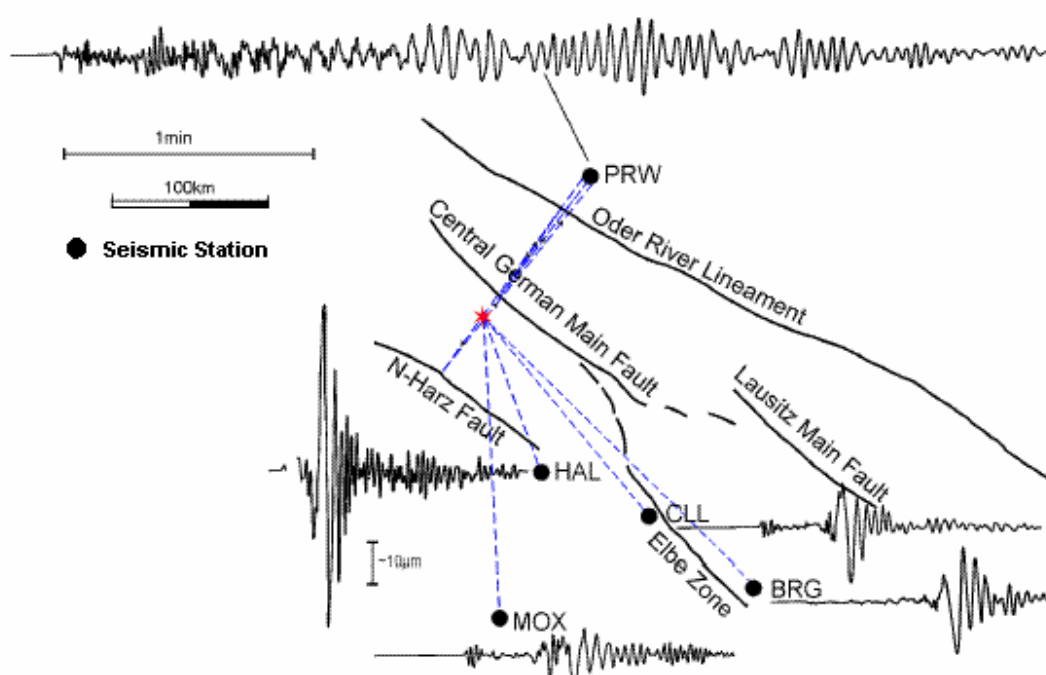


Figura 2. Modificación del registro sísmico por el medio geológico.

El ruido sísmico es el conjunto de señales producidas por fuentes naturales o artificiales que se mezclan con las señales generadas por los eventos sísmicos, ocasionándoles deformaciones o alteraciones que dificultan o entorpecen su detección por los instrumentos sismológicos.

El nivel de amplitud del ruido sísmico determina la capacidad de detección de eventos sísmicos de un observatorio sismológico.

Dicho de otra manera, en un observatorio sismológico “ruidoso” se obtienen registros de eventos sísmicos con una calidad inferior a los que se logran en un observatorio con un nivel de ruido mínimo.

Esto ocasiona que la información sísmica que se obtiene se contamine con la información falsa producida por el ruido lo que trae como consecuencia conclusiones erróneas al analizar un sismograma.



El nivel de ruido sísmico que existe en un sitio específico está determinado fundamentalmente por las rocas que subyacen en el lugar donde está situado el observatorio sísmológico.

Los sitios con rocas formadas por sedimentos recientes no consolidados pueden tener niveles de ruido hasta diez veces superiores a rocas duras como las granitoides.

En los siguientes ejemplos podemos ver claramente la influencia que tiene la geología del sitio donde se encuentra ubicado el observatorio sísmológico, sobre la calidad de los registros obtenidos.

En la figura 3 se muestra el registro de un evento sísmico cercano, realizado con instrumentos idénticos, en dos sitios diferentes, pero las distancias al foco prácticamente iguales.

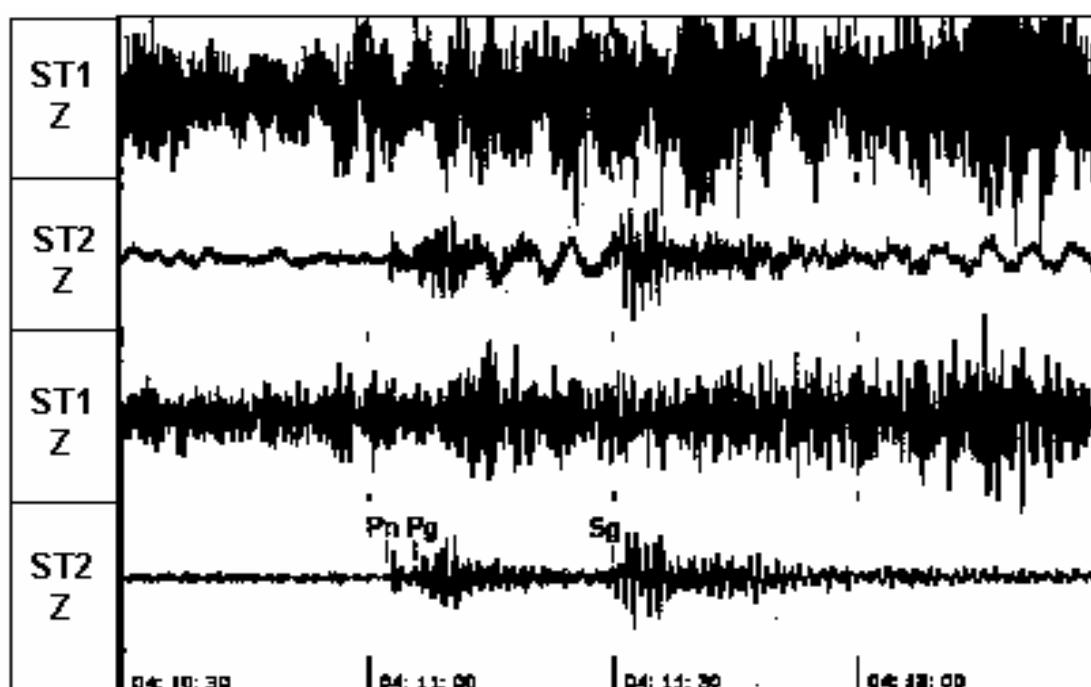


Figura 3. Registro de un terremoto cercano.

Los dos primeros registros se muestran sin filtrar. Los dos últimos se han filtrado con un filtro pasabanda ( $f=0.5-5$  Hz).

En el registro sin filtrar, en el sitio 1, no es posible observar ninguna señal del evento sísmico

En el registro filtrado, en el sitio 1, solamente un experimentado analista de sismogramas puede darse cuenta que existen señales de un evento sísmico, pero le sería imposible indicar los diferentes tipos de ondas.

En el registro sin filtrar del sitio 2, se observa fácilmente que existe un evento sísmico y en el registro filtrado se han podido indicar claramente los diferentes tipos de ondas que se han registrado.

El sitio 1 está situado sobre sedimentos no consolidados con una potencia mayor que 200m mientras que el sitio 2 se encuentra sobre rocas consolidadas.



En la figura 4 se muestra el registro realizado en otros dos sitios de un evento sísmico lejano (el foco a mas de 3000 km.). En este caso los dos registros superiores corresponden a instrumentos sismológicos de largo periodo y los dos inferiores a instrumentos de corto periodo.

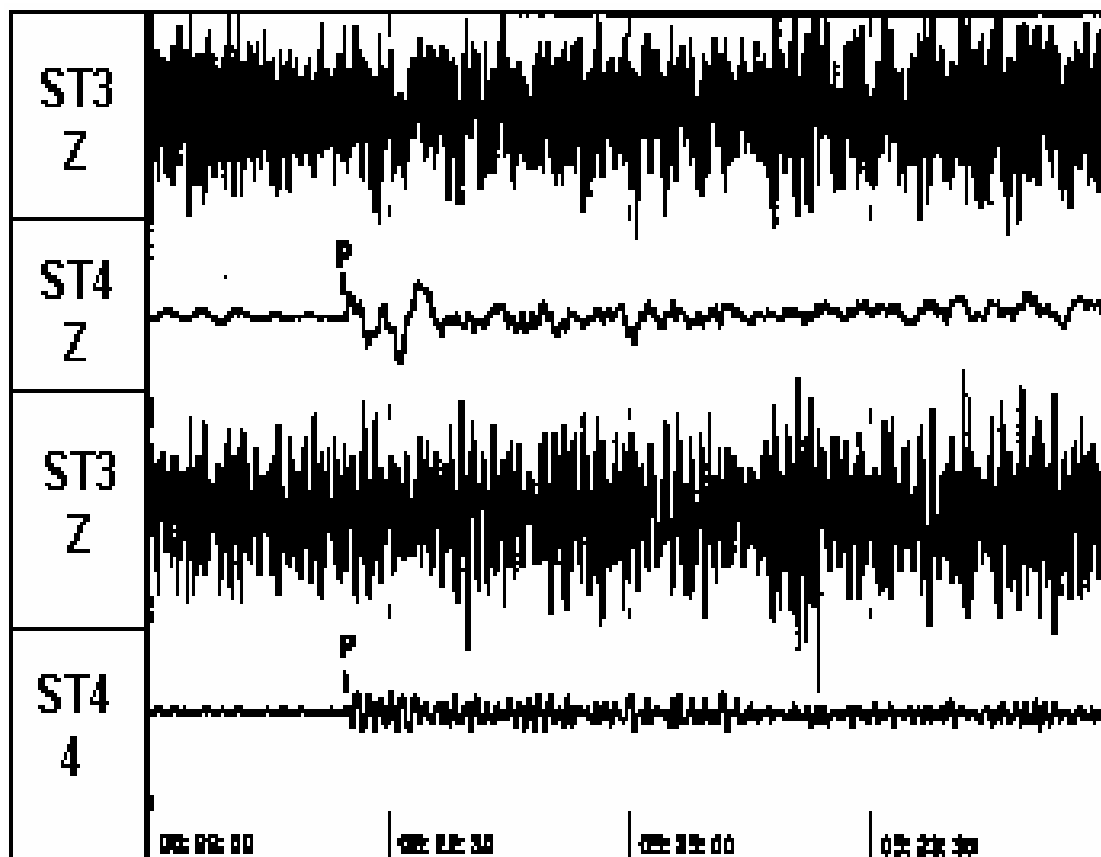


Figura 4. Registro de un terremoto lejano.

En el registro de largo periodo, en el sitio 3 a duras penas se puede observar que existen señales de un evento sísmico y en el registro de corto periodo no se puede observar nada.

En los registros del sitio 4 se observan claramente las señales del evento sísmico.

Al igual que en el caso anterior esta diferencia en la calidad del registro esta determinada por la diferencia que existe entre la geología de un lugar y la del otro.

En la tabla I se puede ver la clasificación de los afloramientos rocosos de acuerdo a su calidad para la ubicación de un observatorio sismológico.





Tabla I. Clasificación de las rocas de acuerdo a su influencia en la calidad del registro sísmico.

CATEGORIA	TIPO DE ROCA
1 ( MUY MALA )	Sedimentos aluviales no consolidados
2 ( MALA )	Sedimentos clásticos consolidados
3 ( REGULAR )	Rocas carbonatadas y rocas metamórficas débilmente compactadas
4 ( BUENA )	Rocas carbonatadas y rocas metamórficas compactadas
5 ( EXCELENTE )	Rocas magmáticas

### Conclusiones.

Las observaciones sismológicas instrumentales son la información básica de la cual proviene todo el conocimiento que la ciencia sismológica puede ofrecer, es por ello que la calidad con que se obtiene dicha información constituye una premisa insoslayable. Podemos decir que para tener un excelente observatorio sismológico no solo es necesario tener instalados instrumentos sismológicos de última generación, tan necesario como esto, es que el afloramiento rocoso, en el cual se encuentra, permita obtener registros de óptima calidad, pues los ejemplos que hemos visto nos muestran claramente que las rocas subyacentes tienen una influencia determinante en la calidad de las observaciones sismológicas que se realizan.

### Bibliografía.

- Borman P (editor). 2002, New Manual of Seismological Observatory Practice (IASPEI).
- Keith, P. 2002. Physics of the Earth as Planet. Bullard Labs of the Department of Earth Sciences University of Cambridge. [http://bullard.esc.cam.ac.uk/~keith/Physics\\_Earth\\_Planet/home.html](http://bullard.esc.cam.ac.uk/~keith/Physics_Earth_Planet/home.html).



## **A LOCAL STUDY OF DARUNEH FAULT'S ACTIVITY ON THE DAMAGE OF QUANATS ( GEO HAZARDS )**

Morteza Taherpour , Massoud Aghabeygi . Mitra Taherpour

Islamic Azad University Of Mashad – Iran – Mashad – Faculty of science . E – mail :  
mortezataherpour@yahoo.com

Introduce of Kashmar township : Kashmar township from Korasan province is located south of this province and in the north east of Iran . It has a hot and dry climate and it is near to Tabas desert .

Definition of Daruneh fault : Daruneh fault or big desert fault , has about 700 km length and it is located in Daruneh area which is on the south west of Kashmar and it is extended till Afghanistan boarder .

As Daruneh & Harat fault's displacement is about 100 km . along this fault , the blocks have a dextral & senstral movement and one of the latest movement of Daruneh fault is dextral movement . After Zagros fault , Daruneh fault is one of the important linear structure and a few people believe that this fault is the North boarder of Lut .

The subject of study : falling down of a building which was located on a Quanat ( aqueduct ) because of Daruneh fault's movement .

Results : on date the first day of March 2004 a house which was located on the above of a Quanat ( aqueduct ) fallen down , perhaps the reason of this falling is the seismic waves of Daruneh' movement . ( if the article accept , I will send you the pictures and details ) .

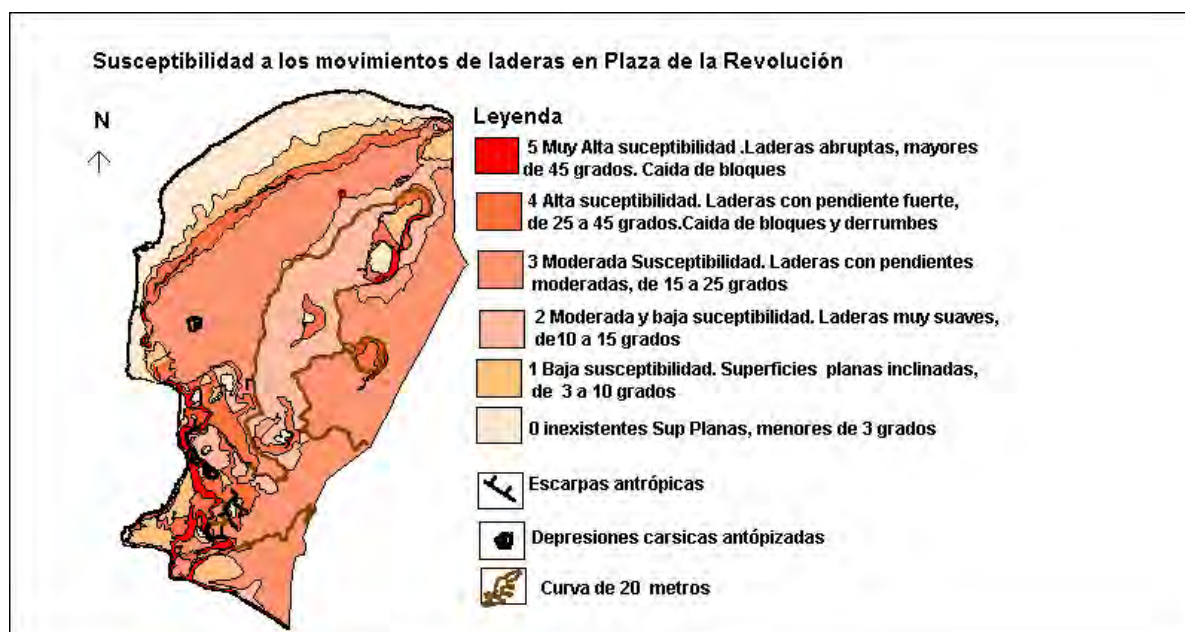
## ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS DE LADERAS EN LA PARTE ORIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO ALMENDARES Y LA LLANURA MARINA ADYACENTE. CUBA

Hilda M. Alfonso de Anta

*Instituto de Geografía Tropical Email [hilda@geotech.cu](mailto:hilda@geotech.cu)*

Los movimientos de Ladera ocurren con relativa frecuencia pero debido a sus lentos desplazamientos y en especial los deslizamientos son inadvertidos sobretodo en zonas no montañosas. Algunos de estos eventos han provocado grandes afectaciones incluso con pérdidas de vidas humanas. su intensidad depende de sus velocidades de desplazamiento pero esta puede ser intensificada por factores disparadores como intensas lluvias, movimientos sísmicos acciones antrópicas.

La investigación comprendió la parte oriental del tercio inferior de la cuenca del Río Almendares y la Llanura marina situada al este. Se escogió una llanura fluvio-marina y marina urbanizada elaborada sobre rocas carbonatadas Neógeno - Cuaternarias afectada por precipitaciones intensas relacionadas con el paso de los ciclones tropicales y los frentes fríos. Se cartografiaron las formas del relieve y los procesos geomorfológicos observados Entre las primeras se evidencian diferentes niveles de terrazas marinas y fluviales, denudadas, erosionadas y carsificadas. Se constata una mayor actividad en la parte meridional con la presencia de derrumbes y caída de bloque mientras que en el resto se cartografiaron algunas zonas afectadas por deslizamientos rotacionales y reptación. Se corrobora que estos movimientos son frecuentes y pueden ocurrir en zonas no montañosas favorecidos por otros factores. En la figura se representa el mapa de susceptibilidad a los movimientos de laderas. En el análisis se han evaluado las formas del relieve, los gradientes de sus pendientes y las litologías sobre las cuales han sido modeladas.



Los movimientos de Laderas debido a sus lentos desplazamientos y en especial los deslizamientos son inadvertidos. Algunos han provocado incluso pérdidas de vidas humanas como el ocurrido en 1974 en el valle del río Mantaro en Perú (De Graff .J, Brabb E y King A P,1993.

La investigación comprendió la parte oriental del tercio inferior de la cuenca del Río Almendares y la Llanura marina oriental ubicadas en el Municipio Plaza de la Revolución, una zona muy urbanizada. El objetivo de la misma fue cartografiar las formas del relieve, los procesos geomorfológicos observados y evidencias de su actividad. Se diferenciaron varios niveles de terrazas, carsificadas y transformadas por la urbanización. Fueron observadas edificaciones situadas en zonas susceptibles a deslizamientos con presencia de lesiones tales como grietas verticales y horizontales.

En el extremo meridional con mayor gradiente de pendiente y mayor actividad existen derrumbes y caída de bloques mientras que en el resto del territorio se observan algunos deslizamientos rotacionales y pequeñas zonas de reptación que son intensificados por acciones antrópicas. Por otra parte en la parte inferior de la tercera terraza marina existen con frecuencia tupiciones del alcantarillado, al parecer insuficiente a la carga de aguas albañales y sus residuales.. Se corrobora que los movimientos de ladera pueden afectar a zonas no montañosas si otras condiciones lo favorecen.

## Introducción

La temática de los peligros es de gran actualidad entre los problemas ambientales. Dentro de los peligros geológicos los movimientos de laderas son uno de los de mayor ocurrencia, no obstante en ocasiones sus desplazamientos pasan inadvertidos. Existen evidencias de afectaciones incluso con pérdidas de vidas humanas y/o afectaciones de obras civiles. En Cuba se han realizado y se realizan algunas evaluaciones de los movimientos de laderas en su mayor parte con la utilización de métodos probabilísticos y cartográficos con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Entre los factores que pueden favorecer la presencia de esos movimientos se encuentra el relieve y las condiciones geológicas sobre las cuales se ha elaborado el mismo por lo cual uno dentro de los métodos cartográficos la utilización de los criterios geomorfológicos que controlan la ocurrencia de diferentes tipos de movimientos en cada zona es de gran importancia. Basado en esto el objetivo de esta investigación fue caracterizar y evaluar las formas del relieve y los procesos geomorfológicos activos que tienen lugar en el territorio así como analizar las formas relacionadas con la presencia de estos movimientos y sus afectaciones.

El Municipio Plaza de la Revolución se encuentra en la parte central septentrional de la Provincia Ciudad de la Habana hacia la margen oriental del río Almendares. Ha sido construido sobre rocas carbonatadas de las formaciones Neógeno Cuaternarias Güines, Universidad, Vedado y Jaimanitas Las cuales están conformadas por calizas organógenas, organógeno-detriticas margas y areniscas. Estas litologías se expresan como un relieve de llanura marinas aterrazada en cinco o seis niveles de terrazas, siendo posteriormente carsificada erosionada y diseccionada sobretudo los niveles superiores

Se corrobora que los movimientos de laderas no se circunscriben a zonas de altas pendientes, o zonas montañosas, pueden ocurrir movimientos locales con menores pendientes si otros factores los favorecen..

## Metodología

Se parte de experiencias anteriores como la realización del análisis de peligros y los de susceptibilidad a los movimientos de laderas presentado por Brab et al ,1972 Westen C, J. Van,(1993) enriquecidos posteriormente por Ferrer, 2000 y otros autores .

Se concibe dicho análisis como una combinación de factores condicionantes y desencadenantes naturales e inducidos por la actividad humana en un territorio habitado en el cual se desarrollan determinadas actividades socioeconómicas entre ellas la construcción. En este caso el análisis tiene un mayor contenido geomorfológico, valido como primera aproximación al análisis de susceptibilidad. Se tuvo en cuenta las formas del relieve, los procesos activos, las litologías existentes y la inclinación de las pendientes de forma cualitativa asociadas a las formas de relieve y sus elementos.

Se realizó la cartografía geomorfológica detallada tanto de las formas como de los procesos mediante itinerarios detallados por todo el territorio prestándose gran atención a las formas del relieve y a los procesos activos, en especial los movimientos de laderas y sus efectos. Los elementos del relieve para su integración en el esquema geomorfológico fueron representados en una serie de capas al igual que las áreas de ocurrencias de los procesos activos.

## Análisis de los resultados

Entre las formas geomorfológicas presentes en el territorio se destacan las terrazas marinas con cinco o seis niveles de terrazas. Estos niveles se distribuyen por casi toda el área del municipio, abarcan desde la costa actual hasta los niveles fósiles más viejos situados en cotas de 50 y 60 metros sobre el nivel del mar. Como características sobresalientes se destaca que el ancho de las superficies disminuye hacia los niveles superiores y hacia el oeste coincidiendo con las cotas mas elevadas. El nivel superior se halla diseccionado en elevaciones con alturas mayores de 40 metros y cotas mayores en la Plaza de la Revolución y al sur del Parque Zoológico. Las terrazas fluviales se distribuyen en cuatro niveles y los dos niveles inferiores más jóvenes son los que tienen una mayor continuidad espacial en las márgenes del río Almendares mientras que los superiores solo presentan pequeños relictos.

El territorio tiene una inclinación en general hacia el norte y al noroeste concordante esta última con la inclinación del buzamiento de las rocas. En las terrazas inferiores existen superficies planas bajas con alturas menores de dos metros mientras que las escarpas de los niveles superiores son mas abruptas y sobretudo la ladera meridional.

El territorio presenta un grado de urbanización bastante elevado, lo cual dificulta la visualización de los efectos de determinados procesos geomorfológicos activos, no obstante en la cartografía geomorfológica se evidenciaron zonas con erosión laminar y lineal así como procesos gravitacionales consistentes en caídas de bloques y deslizamientos. Se observa erosión laminar en algunas áreas verdes mientras que la erosión lineal se limita a líneas de escorrentía. Los movimientos de ladera a su vez tienen un mayor desarrollo hacia la parte meridional, hacia el oeste y suroeste, observándose tanto deslizamientos como caída de bloques. Se observan determinadas lesiones en obras expuestas al peligro.

## Conclusiones

Se constata la utilidad del análisis de susceptibilidad con un mayor contenido geomorfológico en este estadio de las investigaciones, así como la necesidad de un enfoque heurístico mas integral para la solución de estos problemas científicos.

Es corroborado que los movimientos de laderas pueden ocurrir en zonas no montañosas bajo la presencia de otros factores.

Se evidencia una asociación entre las zonas más susceptibles a la ocurrencia de movimientos de laderas y determinados tipos de lesiones de obras civiles expuestas al peligro.

## Recomendaciones

Se deben continuar estudios geomorfológicos detallados para precisar la distribución espacial de estos procesos en el territorio y análisis determinísticos con énfasis en la parte geotécnica y en la patología de construcciones.

## Referencias.

- 1 (De Graff .J, Brabb E y King A P,1993. :Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado  
Proyecto de Peligros Naturales del Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de Estados Americanos Washington, D.C.

- 2- Furrázola Bermúdez, G Nuñez Cambra K , e , 1997 compiladores. Estudio Sobre Geología de Cuba Instituto de Geología y Paleontología Centro nacional de Información Geológica .
- 3-Westen C, J. Van,(1993): Remote Sensing and Geographic Information Systems for geologic hazard mitigation Revista ITC Journal No 4 393-399 ( Netherlands)
- 4-Ferrer Gijón M, 2000. PREVENCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS. Cap. 13 del libro "Ingeniería Geológica". González de Vallejo, L.I., Ferrer, M., Ortuno, L. y Oteo, C.. Prentice Hall. Madrid.





## ACERCA DE LA EXISTENCIA DE LA FORMACIÓN LA CABAÑA EN EL TRAMO COSTERO CANASÍ-BACUNAYAGUA.

**Leandro L. Peñalver**

**Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca No. 1002 y Prolongación de carretera Central. San Miguel del Padrón. E-mail: leandro@igp.minbas.cu**

### RESUMEN

Se plantea por primera vez la posibilidad de la existencia de la Formación La Cabaña en el tramo costero Canasí-Este de Bacunayagua, con la particularidad de que puede ser cartografiada a cualquier escala de trabajo.

Litológicamente la formación está constituida por biocalciruditas finas de matriz calcarenítica-margosa, por lo general muy cementadas, formadas principalmente por nódulos de algas y fragmentos de moluscos y corales y ocasionalmente de calizas biohémicas. Específicamente en la zona predominan ampliamente las calizas coralinas, a veces con mucho ripio de corales evidentemente redepositados.

Se describe detalladamente el corte que se desarrolla tanto al Oeste como al Este de la Ensenada de Bacunayagua, observando las relaciones de yacencia, que presenta con rocas más antiguas, tanto miocénicas como pleistocénicas.

Se destaca claramente la superficie de erosión que infrayace a estas y que, al mismo tiempo, recubre a la Formación Jaimanitas, lo que indica la edad Wisconsin Medio (Pleistoceno Superior parte alta), que deben tener las rocas de la Formación La Cabaña.

Geomorfológicamente constituye un nivel de terraza marina joven, muy evidente al Este de la Ensenada de Bacunayagua, con alturas que llegan hasta los 17m en su extremo Oeste, próximo a la desembocadura del río Bacunayagua.

Paleogeográficamente la formación rellenó paleoensenadas de mayores dimensiones que las actuales, las que eran limitadas en su borde interno por las alturas litorales que se levantan 100m sobre el nivel del mar actual.

### ABSTRACT

The existence of Formation La Cabaña along the coastal section Canasí- Este de Bacunayagua is for the first time discussed. This formation is easily mapped at either working scale.

Lithologically it is formed by fine grained biocalcirudites with marly-calcarenitic matrix generally well cemented, mainly formed by algae nodules, mollusc fragments, corals and occasionally biohermic limestones.

In a specified manner in the area extensively prevail coralliferous limestones, sometimes with a lot of coral debris obviously redeposited.

Stratigraphic section outcropping both to the west and to the east of Bacunayagua Inlet is in detail described. Layering relationships with older rocks both miocenic and pleistocenic were also observed.

Erosion surface infra lying these rocks, which at mean time are overlying Formation Jaimanitas clearly indicates a Middle Wisconsin age (upper Pleistocene higher part) for Formation La Cabaña.

Geomorphologically it consists of a young marine terrace level, clearly developed to the east of Bacunayagua Inlet, with a height up to 17 m in its western edge close to Bacunayagua river mouth.

Paleogeographically the Formation filled up larger paleoinlets than actual ones, which were limited in their inner edges by littoral heights raising up to 100 m above actual sea level.

### INTRODUCCION

Durante los últimos tiempos, el autor ha tenido la posibilidad de realizar trabajos muy detallados en el tramo costero ubicado entre Canasí y el Este de Bacunayagua, logrando identificar



depósitos calcáreos que sobreyacen a la Formación Jaimanitas. Estos depósitos se pueden correlacionar con la más joven Formación La Cabaña, e inclusive, dadas las características del corte, se puede proponer como un estratotipo complementario para esta unidad, el perfil que se distingue en la parte Este de la Ensenada de Bacunayagua.

Al parecer, un criterio semejante tuvo J. Rudnicki, quien realizó los trabajos de cartografía de los depósitos Cuaternarios de la costa norte de Matanzas (K. Piotrowska et al. 1981) y realizó observaciones muy atinadas sobre estas capas, las que por su alta precisión y nivel de detalle, reproducimos en este trabajo.

## MATERIALES Y METODOS

Para la realización y elaboración de esta investigación se tuvieron en cuenta los Levantamientos Geológicos de la provincia de Matanzas a escala 1: 250 000 (K. Piotrowska et al. 1981) y de las provincias habaneras a la misma escala (J. Albear y M. Iturralde 1977), así como los trabajos generales desarrollados por el autor (L.L. Peñalver et al 2001) y las conclusiones sobre esta unidad que aparecen recogidas en el Léxico Estratigráfico de Cuba, en su versión del año 2001. Se utilizan las descripciones petrográficas obtenidas por el autor en las rocas de esta formación.

Hasta el momento, la mayoría de los afloramientos conocidos de rocas de la Formación La Cabaña se relacionaban con desembocaduras de ríos, orillas de bahías, y otros accidentes menores de la costa, casi siempre sobreyaciendo a las calizas de la Formación Jaimanitas. Precisamente la existencia de esta sobreyacencia es un método eficaz para determinar que se está en presencia de una formación muy joven ya que sobre Jaimanitas son pocas las unidades que pueden existir, ya que ella misma es joven.

En todo el tramo costero que se extiende desde Canasí hasta el Este de la Ensenada de Bacunayagua, se pueden distinguir remanentes de la Formación La Cabaña, muchas veces representados por una capa de calizas biohémicas dura, muy coralina, la que se separa de la Formación Jaimanitas por una nítida superficie de erosión. En dicha superficie de erosión pueden distinguirse costras evaporíticas, capas de caliche y otras formas típicas de erosión subaérea.

## DISCUSION

La Formación La Cabaña de edad Pleistoceno Superior Tardío, fue propuesta por Bronnimann y Rigassi, 1963, bajo el nombre de Formación Casablanca. Esta unidad litoestratigráfica se extiende al Este de la Ensenada de Bacunayagua hasta algo más de 1 km. Con bastante probabilidad sus depósitos también se acumularon al Oeste de la Ensenada de Bacunayagua, en las proximidades de Punta La Peineta, aunque la erosión trabajó sobre ellos y solo se encuentran en la actualidad algunos parches aislados en el borde costero. En el tramo costero entre Canasí y Puerto Escondido también se puede distinguir esta unidad en pequeños parches discontinuos.

Las características litológicas de esta formación la definen como biocalcarenitas finas de matriz calcarenítica margosa, por lo general muy cementadas, formadas principalmente por nódulos de algas y fragmentos de moluscos y corales y ocasionalmente de calizas biohémicas. Se desagrega dando lugar a un material calcáreo untuoso, pulverulento, con el aspecto de la creta.



Las calciruditas pasan ocasionalmente a calcarenitas margosas y margas arenáceas. La coloración es blancuzca y amarillenta.

J. Rudnicki (en K. Piotrowska et al 1981) hizo la siguiente reseña de esta unidad en las orillas de la Ensenada de Bacunayagua. En el corte occidental de dicha ensenada observo:

1-Una superficie de abrasión cortada en calizas margosas miocénicas. Esta superficie poco inclinada se sumerge debajo del nivel del mar.

2-Cono de derrumbe formado por la caída de cantos y bloques desde el farallón que limita la superficie de abrasión. Los cantos y bloques tienen una dimensión que oscila desde algunas decenas de centímetros hasta 1 metro y en general, no se encuentran carsificados y presentan aristas agudas no elaboradas. En la parte alta del cono, más arriba de la terraza marina, los cantos están cementados por una matriz calcárea con hidróxidos de hierro de color rojo. En la parte baja del cono, por debajo de la terraza marina, los cantos están algo cementados pero sin los hidróxidos de hierro.

3-Caliza coralina con grandes colonias de corales desarrollados directamente sobre los cantos del cono de derrumbe. El límite inferior de la caliza coralina es irregular, debido a la forma del cono. El techo de la formación coralina, por el contrario, es llano y alcanza 5,5 metros de altura sobre el nivel del mar. Tiene un ancho de 15 hasta 20 metros. Esta terraza tiene forma arrecifal con abundante desarrollo de corales *Montastrea annularis* y *Montastrea cavernosa* de gran tamaño y ocupando las posiciones que tenían en vida.

Solamente en la parte superior del perfil se presentan abundantes colonias de corales de pequeños tamaños, parcialmente redondeados y rotos.

Sobre la superficie de la terraza, en algunos puntos, descansa un cono de derrumbe subreciente (deposito coluvial). Este cono se encuentra también cementado por una matriz calcárea roja. En la parte baja del cono, conjuntamente con el cemento, se presentan abundantes fragmentos de conchas marinas, pero a la altura de aproximadamente 15 metros se encuentran exclusivamente conchas de moluscos terrestres.

Según J. Rudnicki para la interpretación más completa del perfil de esta etapa de la Transgresión La Cabaña, es necesario analizar el corte complementario que se encuentra en la orilla oriental de la Ensenada de Bacunayagua y a cierta distancia del farallón. En este corte se presenta abundante material transportado por el río Bacunayagua, desde el interior del valle de Yumurí. De abajo hacia arriba tenemos:

1-Superficie de abrasión cortada en las calizas margosas semejantes a las del corte de la orilla occidental.

2- Capa discontinua de cantos y gravas.

3-Caliza coralina con lentes irregulares de arena calcárea, lutitas y gravas. Esta serie alcanza una altura de 8,5 metros sobre el nivel del mar.

La caliza coralina cambia bruscamente a un conglomerado polimíctico débilmente cementado por una matriz lutito-carbonática. Las gravas tienen de 5 a 10 cm de diámetro. Entre las gravas se encuentran representados gabros, serpentinitas, diabasas, grauvacas y silicitas. Estas rocas



indican su procedencia desde el valle de Yumurí. La secuencia tiene 1,5 metros de espesor y alcanza 10 metros de altura sobre el nivel del mar.

En la parte superior se presenta una capa deluvial de 1,7 metros de espesor. Esta capa está formada por una masa arcillo-margosa con fragmentos de calizas.

Esta secuencia con una estratificación no clara e inclinada en dirección al mar, se formó por deslizamientos de las margas intemperizadas.

Al avanzar hacia el Este de la desembocadura del río Bacunayagua se continúan observando estas rocas, ahora separadas de la costa unos 30-40 metros y cubiertas parcialmente por camellones de tormenta de edad holocénica. En esta zona el borde costero hacia el interior de la tierra lo constituye la Formación Jaimanitas, precisamente hasta los 30-40 m antes señalados, en que la Formación La Cabaña lo sobreyace transgresiva y discordantemente. En algunos lugares de la zona de contacto se puede distinguir la superficie de erosión que separa ambas unidades. El último afloramiento en esa dirección se observa después de una pequeña caleta, donde la Formación Jaimanitas se acuña contra la Formación Vedado y la costa comienza a levantarse, constituyendo un acantilado de alrededor de 30 m de altura. En ese afloramiento la Formación La Cabaña está constituida por calizas con un alto contenido de corales rotos y redepositados.

Al Este de Punta Guanos desaparece por completo todo vestigio de la Formación La Cabaña, y en cambio, la Formación Jaimanitas constituye una amplia terraza marina que penetra tierras adentro alrededor de 500m.

Como puede apreciarse, el área que ocupa la Formación La Cabaña al Este de la Ensenada de Bacunayagua es lo suficientemente extensa como para ser cartografiada a cualquier escala de trabajo usual.

Los perfiles de Bacunayagua representan una joven y breve transgresión marina que empezó desde el nivel del mar más bajo que el actual y que alcanzó por lo menos 10 m sobre el actual nivel del mar. Al inicio de la transgresión existían condiciones favorables para el crecimiento de los arrecifes coralinos, pero durante el desarrollo de la transgresión se produjo un brusco aumento del material terrígeno transportado por el río Bacunayagua, imposibilitando totalmente el crecimiento de los corales.

Seis determinaciones petrográficas realizadas por Iliana García a las rocas de la Formación La Cabaña en esta región, reportaron para la misma que son biointramicrita-Floatstone, a veces Boundstone. Calizas coralinas, con textura organógena, estando la roca compuesta por una matriz micrítica, de fango calcáreo arcilloso, que engloba en forma basal organismos representados por fragmentos de algas y corales, que constituyen, en ocasiones, hasta un 70 % de la roca. En ocasiones el cemento es calcáreo intersticial, o esparítico. En una muestra se aprecian intraclastos de calizas preexistentes con fragmentos de rocas volcánicas y granos de cuarzo y hornblenda. También se observó escaso mineral metálico disperso.

La roca es de facies de mares someros neríticos o litorales, cálidos, salobres y enérgicos, consignándose en el Léxico Estratigráfico de Cuba (1991, 2001) que constituye depósitos arrecifales.

Originalmente se consideró que su edad debía ser Pleistoceno Medio. Sin embargo, Observaciones más recientes apuntan a que su edad debe ser considerada Pleistoceno



Superior parte alta, ya que en muchos lugares, incluyendo esta zona de estudio, se observa sobreyacencia de esta unidad con respecto a la Formación Jaimanitas.

Toda vez que la Formación Jaimanitas es Pleistoceno Superior parte baja (Sangamon en el Modelo Norteamericano de Glaciaciones e Interglaciaciones), es muy probable que La Cabaña se correlacione con el Wisconsin Medio, interestadio incluido en la Glaciación Wisconsin del propio Modelo Norteamericano y cuya edad, según Flint (1971) puede ser estimada entre 55 000 y 25 000 años A.P.

Ese interestadio del Wisconsin Medio se caracterizó por una fase transgresiva relativamente corta, pero que en el caso de Cuba, al parecer, permitió la acumulación de los depósitos de las formaciones La Cabaña, Playa Santa Fe, El Salado, Cocodrilo, y Guillermo, todas de carácter bastante local y muy estrechamente relacionadas con la Formación Jaimanitas.

Geomorfológicamente, la Formación La Cabaña (al menos en la superficie extendida al Este de la Ensenada de Bacunayagua), constituye un nivel de terraza marina muy joven, posiblemente preholocénico, ligeramente más alto en las proximidades de la ensenada, donde la base de la terraza la ocupan varios metros de depósitos coluviales y la terraza se eleva hasta 17 m, inclinándose ligeramente al alejarse hacia el Este, donde desciende hasta aproximadamente 5 m, no observándose en su base depósitos coluviales, sino, como se explicó, las calizas de La Cabaña sobreyaciendo a las de Jaimanitas.

Paleogeográficamente, la Formación La Cabaña rellenó paleoensenadas de mayores dimensiones que las actuales, las que eran limitadas en su borde interior por las alturas litorales que se levantan hasta 100 m sobre el nivel del mar actual o por los depósitos coluviales (cono de derrumbe según J. Rudnicki), que se desarrollan ininterrumpidamente al pie de las elevaciones en su vertiente Norte.

Es bastante probable que la existencia de esas alturas litorales próximas a la línea de costa actual, sea la responsable de la deposición y después de la preservación de la Formación La Cabaña que ha permitido su estudio actual. No obstante, para llegar a estimaciones más precisas se requiere de investigaciones más detalladas, no solo en la región de Canasí-Bacunayagua que posee estas alturas litorales, sino también al Oeste y al Este de esta zona donde, al parecer, no existen vestigios de la Formación La Cabaña.

## CONCLUSIONES

1-Se comprobó la existencia de la Formación La Cabaña en diferentes partes del tramo costero Canasí-Este de la Ensenada de Bacunayagua y particularmente en la zona Este de ese territorio, donde se describen sus mejores perfiles y donde la unidad constituye una joven superficie de terraza marina.

2-Se estima que la Formación La Cabaña rellenó paleoensenadas existentes en la época de la transgresión que depositó esos sedimentos, en cuyo caso el límite sur de esas paleoensenadas lo constituyeron las alturas litorales que bordean la costa y que en ocasiones llegan exactamente hasta la costa.

3-Se sugiere la continuación de investigaciones más detalladas, que permitan establecer relaciones más estrechas entre la deposición de las capas de la Formación La Cabaña y la existencia de las alturas litorales que bordean la costa.



## BIBLIOGRAFIA

Albear J.F. de, M. Iturralde-Vinent, G. Carassou, N. Mayo, L.L. Peñalver, N. Pérez (1977): Memoria explicativa del Mapa Geológico a escala 1: 250 000 de las provincias de La Habana. Manuscrito inédito. I.G.P. La Habana, 596 p.

Bronnimann, P. and D. Rigassi (1963): Contribution to the geology and paleontology of the area of the city of Habana, Cuba, and its surroundings. *Eclogae Geol. Helvet*, 56 (1): 193-480.

Flint, R.F. (1971): *Glacial and Quaternary Geology*, John Wiley, New York, 892 p.

Léxico Estratigráfico de Cuba (Primera Versión): (1991) (Colectivo de Autores). Inédito. Archivos del Inst. Geol. y Paleont. La Habana.

Léxico Estratigráfico de Cuba (Segunda Versión): 2001 (Colectivo de Autores). Inédito. Archivos del Inst. Geol. y Paleont. La Habana.

Peñalver, L.L., M. Cabrera, H. Trujillo. M. Fundora, J. Pérez Lazo, L. Molerio, H. Morales, M. Guerra, I. Pedroso, (2001): Cambios climáticos en Cuba durante el Cuaternario sobre bases geológicas. Inédito. Archivos del Inst. Geol. y Paleont.. La Habana, 271 p.

Piotrowska, K.A., A. Pszczolkowski, R. Myscynski, J. Rudnicki, M. Kuzniaski, L.L. Peñalver, G. Franco, M. Pérez, J.F. de Albear (1981): Texto explicativo al Mapa Geológico en la escala 1: 250 000 de la provincia de Matanzas. Inédito. Archivos Inst. Geol. y Paleont. La Habana, 813 p.





## ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA DISOLUCION KARSTICA Y LA EROSION, EN LAS OBRAS PATRIMONIALES DE LA “VILLA DE SAN CRISTOBAL DE LA HABANA”. INTRODUCCION A UNA METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DEL ESTADO DE LAS CONSTRUCCIONES CONSTRUIDAS CON ROCAS CARBONATADAS.

**Evelio J. Balado Piedra\*, Ernesto Flores Valdes\*\***

*\*Geologo, Profesor Auxiliar, Espeleologo de Nivel Superior.*

*\*\*Especialista en Hidrologia Karstica.*

### Resumen.

La humanidad esta construyendo con bloques de piedra caliza desde hace 4 700 anos, epoca en que se construyo la primera de las construcciones piramidales del antiguo Egipto, tambien conocida como “**La Piramide Escalonada**”, en Sankara, en Egipto, ademas tambien fue la primera de estas construcciones edificada con objetivos funerarios.

En Cuba, en la mayoría de las grandes construcciones que se ejecutaron a partir del siglo XVII (por ejemplo el Castillo de la Fuerza se termino en 1558, hace 446 anos, por lo cual se considera como la primera gran obra construida en la isla), se utilizo como material fundamental los bloques de roca carbonatada (desde calizas, hasta margas), los cuales tambien se conocian como “**cantos de piedra**”, de ahí la denominacion del material de construccion como “**piedra de canteria**”.

Aunque en muchos casos, sobre la superficie de las fachadas y paredes exteriores se aplicaban recubrimientos de diferentes morteros de argamasa primero y de “**cemento romano**”, posteriormente (comunmente llamado repello o reboque), el mismo que debido a lo agresivo del clima y las características de las rocas con que estaban construidas, que el mismo se perdiera de forma que las paredes de roca quedaran expuestas a la accion de los agentes del interperismo. En los primeros tiempos dicha agresiones eran normales teniendo en cuenta los rigores del clima tropical, pero despues con el desarrollo de las poblaciones y la adopcion de los avances tecnologicos el medio ambiente de las ciudades se hizo sumamente agresivo, no solo para los humanos, sino tambien para las construcciones desarrolladas en dicha ciudad.

En el presente trabajo se hace un analisis “**in situ**” preliminar de las formas de alteracion que mas inciden en los muros, paredes y techos de una serie de construcciones consideradas como patrimoniales de la ciudad de La Habana, se evalua el grado de afectacion de dichas construcciones a partir de la distancia de la linea costera (influencia de los aerosoles marinos y en algunos casos de las salpicaduras y accion directa del oleaje marino).

Tambien se hace un analisis del grado de afectacion de cada roca en dependencia de la formacion geologica a la que pertenecen (Vedado, Jaimanitas, Morro u otras). Mediante el presente trabajo se pretende elaborar una metodologia para la evaluacion de estado constructivo en que se encuentran los muros construidos con bloques de roca caliza o recubrimientos de estas rocas aplicadas a sus muros.

### Introduccion.

En Cuba la mayoría de las grandes construcciones edificadas a partir del siglo XVII, se construyeron utilizando roca caliza (que se encontraba en todos los terrenos de la ciudad), como material fundamental de construccion. Incluso aun en la actualidad, resulta una practica muy comun, la utilizacion de planchas de caliza como material de recubrimiento de las fachadas de las edificaciones, como forma de proteger las superficies exteriores de dichas edificaciones, dotandolas adem'as de una bellissima terminacion, la cual ademas resulta sumamente economica, ya que no requiere de pinturas o barnices para proteger las superficies.



Además, todavía hoy en algunas provincias del país se utilizan ampliamente los bloques de rocas carbonatadas (calizas, margas calcáreas, calizas margosas y calcarenitas, entre otras), como material fundamental para la construcción de viviendas, estos bloques son denominados "cantos", y los mismos son cortados con sierras de manos en pequeñas canteras, sobre todo en las provincias de La Habana y Matanzas, mientras que en la provincia de Pinar del Río y también en zonas de La Habana, se utiliza mucho algunos tipos de caliza como material de recubrimiento y decoración de las paredes principales de las fachadas y muros de cercas en las viviendas.

**Tabla No.1:** Rocas más comúnmente usadas en las construcciones de la Villa de San Cristóbal de La Habana.

FORMACION	LITOLOGIA	COLOR	CANTERA
<b>Formacion Vedado</b>	Caliza fragmentaria, arrecifales, con mucha fauna, masivas	Blanca	G y 21, San Lazaro, 23 y 25, 21 y L
<b>Formacion Jaimanitas</b>	Depositos calcáreos arrecifales de la terraza marina acumulativa. Son en general calizas arrecifales.	Crema amarillento	Jaimanitas
<b>Formacion Universidad</b>	Calizas arcillosas, mas o menos laminares, calizas silicificadas.	De blanco a verdoso, en ocasiones grisáceas.	Alrededores de la Universidad, M y 25
<b>Formacion Morro</b>	Calizas con algas fósiles, calizas organógenas.	Gris con manchas blancas.	Alturas del Morro.
<b>Formacion Sta. Fe</b>	Calcarenitas blancas, amarillentas, alternando con gris, de grano medio, muy porosas en capas finas.	De blanco amarillento a gris.	Al norte del poblado de Sta. Fe, al oeste de La Habana.

Durante muchos años también fue práctica habitual en toda la llanura costera del sur (karstica), Habana-Matanzas, la construcción de las cercas perimetrales de las fincas a partir de fragmentos de roca caliza productos de la deskartificación que se recogían en los propios terrenos (costumbre heredada posiblemente de los emigrantes españoles, fundamentalmente de Galicia donde esto era práctica común).

Dado el hecho de que todas esas construcciones constituyen hoy día obras de alto valor patrimonial, de gran importancia para la historia arquitectónica sobre todo para la capital del país (en el presente trabajo solo se estudian las obras edificadas en la Villa de San Cristóbal de La Habana), el presente estudio y la metodología de evaluación que se obtuvo del mismo, podría representar una herramienta de primer orden para las autoridades que desarrollan las estrategias de protección y conservación de los bienes patrimoniales (inmuebles), coordinen y



panifiquen de forma objetiva los ciclos de mantenimiento y limpieza, así como otras medidas de protección, al poder contar con una evaluación cuantitativa y objetiva del estado en que se encuentran dichos inmuebles.

### **Materiales y Metodos de Recopilacion de la Informacion.**

A partir de la localización de la mayor cantidad posible de edificaciones y monumentos en la Ciudad de La Habana (15 analizados), y determinar que sus muros, paredes, pisos y encasos partes del techo y los entresuelos, fueron construidos con bloques y "cantos" de roca caliza como material fundamental de construcción (de 26 edificaciones que se visitaron se seleccionaron las 15 que relacionamos en este trabajo), fue que pasamos a inspeccionar cada edificio o las ruinas de ellos de forma para tratar de identificar en ellos las alteraciones constructivas que presentaran y de esta forma tratar de averiguar sus causas, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Principales daños existentes en las obras
- Las causas de tales daños (los fundamentales)
- Tipo de roca utilizada en la construcción
- Evaluación de posibles recomendaciones para detener o minimizar los daños.

Anteriormente a este trabajo de terreno, en el curso de la investigación bibliográfica se había podido identificar las principales canteras suministradoras de bloques de caliza para las construcciones de La Habana, las principales eran: las Canteras de San Lazaro, El Vedado y el Morro, aunque con el paso de los años y el agotamiento de las primeras, junto con el auge constructivo se explotaron otras canteras situadas mucho más al oeste de las anteriormente mencionadas (Monte de Barreto, por ejemplo).

También gracias a las observaciones de terreno realizadas y las búsquedas bibliográficas, se pudo determinar de forma aproximada, la velocidad de los procesos erosivos desarrollados sobre las edificaciones, a partir del conocimiento de las fechas de construcción de las obras, haciendo el cálculo de los daños ocurridos y el comienzo de los mismos.

Resulta muy interesante comprobar como la pérdida del repleto de las fachadas y muros de las construcciones a sido determinante en la mayoría de los casos, para que sobre los mismos se desarrollaran los procesos erosivos, mientras que en otros casos la porosidad intrínseca de la roca, en combinación con el pésimo estado de los techos y paredes, favoreció que alguno de estos muros funcionen como verdaderos micro acuíferos percolantes con los consiguientes daños para el inmueble que la acumulación de agua y humedad provoca en los mismos (paredes resacas, desmoronamientos, asentamientos, fracturas y otros).

Mediante el trabajo en el terreno fueron identificadas las siguientes causas de los daños a las construcciones:

- . Los aerosoles marinos y en algunos casos la acción directa de las olas y las salpicaduras.
- . Las plantas creciendo en techos y paredes
- . El aumento de la contaminación del aire en el casco urbano
- . La falta de mantenimiento y limpieza regular de las fachadas
- . Las salpicaduras que provocan los vehículos sobre las paredes producto de salideros y charcos permanentes en las calles.
- . Otros.

Cada una de ellas provoca la aceleración de los procesos de disolución y corrosión de las rocas, dando lugar en ocasiones a daños irreversibles hasta en las estructuras de las edificaciones, razón por la cual en el transcurso del desarrollo de este trabajo se elaboró una metodología que nos permitiera determinar el grado de afectación de cada bloque, las causas



de los danos y la posibilidad de elaborar recomendaciones para mitigar o solucionar los problemas.

### **Desarrollo del Trabajo.**

Para la obtencion de toda la informacion necesaria para su posterior analisis y procesamiento, se diseno una metodologia de trabajo que comprendio:

- Selección de las edificaciones y monumentos que se estudiarían
- Selección de los parametros que se estudiarían en cada obra
- Vivista e inspeccion detallada de cada obra seleccionada
- Elaboracion de una metodologia para la evaluacion de los danos erosivos a partir del estudio de los bloques
- Confeccion de un mapa para el analisis del grado de afectacion de las obras en relacion con la distancia de la linea costera.

De esta forma, a partir de la combinacion del analisis *in situ* obra a obra y el estudio de gabinete de las evidencias encontradas, se logro la identificacion tanto de las causas principales como de los agentes que provocan el desarrollo de procesos erosivos y degradantes en las fachadas y estructuras de las obras patrimoniales construidas a partir de bloques de roca calizas:

- Falta de mantenimiento y limpieza de las fachadas lo cual provoca: crecimiento de plantas en paredes y techos los cuales producen CO<sub>2</sub> el cual es cedido a las aguas de lluvia así como las provenientes de salideros y derrames aumentando su poder disolutivo, a lo cual se suma la accion mecanica de las raices sobre los bloques y juntas entre bloques. Las costras de hollin y polvo favorecen la concentracion de la humedad y la disolucion de las rocas.
- Aumento de la contaminacion del aire, lo cual produce las antes mencionadas costras de hollin y polvo sobre las paredes y techos y enriquece con sus componentes la agresividad del ambiente frente a los muros de piedra.
- La desaparicion de los repellos de la mayoría de las edificaciones lo cual ha dejado los bloques de roca caliza directamente expuestos a las inclemencias y acciones del clima.
- Cercania con la costa, lo cual expone a las construcciones tanto a la accion de los agresivos aerosoles producidos por la combinacion del oleaje con los vientos, los cuales insiden en las construcciones, fundamentalmente en la epoca invernal y la temporada ciclonica. Mientras que otras cosntrucciones se ven expuestas a la accion directa del oleaje y las salpicaduras provocadas por el choque de las olas con la faralla costera (que en la Ciudad de La Habana es ligeramente escarpada en casi toda su extension).

Tambien se logro enumerar los principales danos que afectan en estos momentos las paredes, techos y otros objetos constructivos de las obras patrimoniales evaluadas, entre los que podemos mencionar:

- degradacion y desmoronamiento de la superficie de los bloques
- cavitacion o microcavernamiento en los bloques y planos de union entre ellos
- disolucion y perdida de la union entre bloques
- formacion de alveolos en los bloques favorecido esto por la gran cantidad de fosiles de moluscos y corales existentes en ellos
- disolucion, desmoronamiento y fracturacion mecanica de bloques y paredes.



**Tabla No. 2:** Formas karsticas mas observadas en las obras construidas con bloques de roca caliza.

FORMA	TIPO	UBICACION	CAUSA PROBABLE
Lapies	Acanaladuras Tinajitas (Kamenitzas) Surcos Caotico	Pared Contacto de cantos Superficies planas Superficie de cantos	Lluvia, aerosoles, costras biogeneicas, vegetacion, fisuras y grietas.
Micro cavernamiento	Horizontales Verticales	Pared Contacto de cantos Contacto entre la pared y el suelo	Fisuras y grietas Junta ente cantos Alveolizacion
Descalcificacion		Toda la obra	Aumento de la agresividad de las aguas y el aire por factores antropicos.
Conductos anostomosados	Por conjugacion Por descalcificacion Por erosion	En los cantos, tanto en su parte externa como interna.	Abundantes restos de fosiles arrecifales. Fisuras y grietas.

### Metodologia de Evaluacion de los Danos en los Bloques.

Para la evaluacion del alcance de los danos o intensidad de la karstificacion desarrollada en las paredes y otras partes de las edificaciones, se tomo como unidad basica evaluativa la pared externa de un bloque de tamano medio de los utilizados en la construccion antes de 1900, ese bloque se subdividio en cuadrículas de 5cm x 5cm y en cada una de estas cuadrículas se realizaron las siguientes mediciones:

1. Profundidad de la disolucion (danos erosivos)
2. Cantidad de alveolos o microcavernas por cuadrícula
3. Profundidad de dichas cavidades
4. Cantidad de area perdida de las superficies por cuadrícula.

Ademas, a la hora de seleccionar los bloques para su evaluacion, se debe anotar los siguientes datos relativos a su ubicación en la edificación:

- ubicación en la edificación
- orientacion de la pared en que se encuentran
- direccion predominante del viento (con respecto al bloque)
- distancia de la costa y si esta frente al mar o a cubierto de el
- fecha de cosntruccion
- incidencia directa del trafico automotor o no
- otras observaciones de importancia.

Entre las formas producto de la disolucion karstica desarrollada en los bloques utilizados en la costruccion de obras patrimoniales, se han logrado identificar y se han observado con mas frecuencia las siguientes:

- . acanaladuras (horizontales y verticales)
- . rugosidad por erosion diferencial



- . kamenitzas (cazuelitas de disolución)
- . pequeñas oquedades de desarrollo horizontal originadas a partir de microfisuras de la roca o la unión entre bloques
- . descamaciones a partir del contacto con acero o hierro muy oxidado
- . conductos y microconductos anastomosados
- . microcavernamiento
- . microlapies
- . desmoronamiento de las rocas producto de la descalcificación.

**Tabla No. 3:** Afectaciones más observadas en las edificaciones producto de la karstificación.

<b>AFECTACION</b>	<b>CAUSA</b>
.Agrietamiento de paredes.	Por pérdidas del material constituyente de los cantos.
.Sobresaturación de humedad en las paredes.	Por descalcificación.
.Filtraciones en paredes y techos.	Causas diversas.
.Oquedades en los pisos y superficies planas.	Causas diversas.
.Asentamiento diferencial de estructuras.	Por fallas en los cantos.
.Pérdida de estabilidad de las estructuras.	Por descalcificación y erosión.
.Rugosidad excesiva en las superficies	Por desarrollo de micro lapies
.Cavitaciones en las paredes.	Por procesos combinados de karstificación y cavernamiento.

## Conclusiones.

1. Producto de una combinación de factores en las paredes y techos de las obras de interés patrimonial de la Ciudad de La Habana se están produciendo una serie de procesos que contribuyen a la degradación de las mismas.
2. Dichos procesos se han identificado como una forma de micro karstificación urbana.
3. En los últimos decenios dichos procesos se han acelerado e intensificado producto de la actividad antropica.
4. La falta de mantenimiento en las obras patrimoniales (y en las que no lo son), es un factor acelerante de los procesos de karstificación
5. Los procesos de karstificación que se producen sobre los bloques que forman las estructuras de las obras patrimoniales pueden ser evaluados y minimizados, mediante el estudio detallado de los mismos y la aplicación de esta metodología evaluativa.

## Recomendaciones.

1. Aplicar esta metodología evaluativa a todas las obras de valor patrimonial construidas a partir de bloques de roca caliza o recubiertos con placas de caliza o rocas similares (mármol, por ejemplo).
2. Determinación de las características físico-químicas de las lluvias que se producen en la Ciudad de La Habana (se están produciendo lluvias ácidas en la capital?)
3. Hacer un estudio de laboratorio acerca de la agresividad de dichas lluvias frente a las calizas que se utilizaron en las construcciones.
4. Hacer un estudio de las formas de protección y mantenimiento de las obras patrimoniales.





## Bibliografía.

- .Alonso Herrero, Ana: "Estudio de las formas de alteracion de la Fuente de la Flora, Burgos", Revista de Ingenieria Civil, No. 172/2001, pag. 73-81, Madrid, Espana.
- .Diaz Garcia, Andres; Jorda Pardo. "El Control de la Vegetacion en Monumentos Historicos y Zonas Arqueologicas", Revista de Ingenieria Civil, No. 122/2001. Pag. 83-98, Madrid, Espana.
- .Centro de Experimentacion de Obras Publicas de Espana, "Restauracion de Obras Monumentales", 1994.
- .Marcos, R.M.; Esbert, R.M.; Alonso, F.J., "Caracteristicas que Condicionan el comportamiento de la caliza de Hortoria como piedra de edificacion". Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Tecnicos de Madrid, 1994.
- .Saiz de Cueto Tores, F.J. y Romero Munoz, D. "La ingenieria forense y su relacion con la seguridad y calidad estructural", Revista de Ingenieria Civil, No.124/2001. Pag. 51-67, Madrid, Espana.



## **ANEXO No. 1**

### **RELACION DE OBRAS EVALUDAS DURANTE ESTA ETAPA DE TRABAJO**

- Polvorin de la Muralla (Museo de Espeleología)
- Fragmento de Muralla (Teniente Rey y Monserrate)
- Fragmento de Muralla (Puerta de Tierra)
- Iglesia y Alameda de Paula
- Castillo de La Fuerza
- Catedral de La Habana
- Convento de San Francisco de Asis
- Torreon de San Lazaro
- Castillo de La Punta
- Palacio del Segundo Cabo
- Seminario de San Carlos
- Restos de Baluarte y Torreon de La Murralla
- Palacio de los Capitanes Generales
- Torreon de La Chorrera



## ASSESSMENT OF THE RESPONSE OF A HOLOCENE FOSSIL CORAL REEF TO HIGH SEDIMENT INPUT: IMPLICATIONS TO MODERN TRENDS OF REEF DEGRADATION IN HIGH SEDIMENTATION ENVIRONMENTS

Wilson R. Ramírez-Martínez<sup>(1)</sup>, David Cuevas<sup>(2)</sup>, Dennis Hubbard<sup>(3)</sup>

(1) *Geology, Univ. of Puerto Rico at Mayagüez, P.O. Box 9017 E-mail: ramirezwilson@aol.com*, (2) *Department of Marine Sciences, Univ. of Puerto Rico at Mayagüez, P.O. Box 908, Lajas, PR 00667 E-mail: [davocam1@yahoo.com](mailto:davocam1@yahoo.com)*

(3) *Department of Geology, Oberlin College, Oberlin, OH 44074 E-mail: [fdhubbard@oberlin.edu](mailto:fdhubbard@oberlin.edu)*

Coral reefs are in decline due to high sedimentation rates and sediment resuspension. However, there is evidence in the fossil record of extensive reefs developed in high sedimentation environments. Such an example is the reef at Cañada Honda outcrop in the Enriquillo Valley, Dominican Republic. Rapid evaporation in Bahía Enriquillo after closure ca. 4,000 ybp has exposed well-developed Holocene reefs in which modern coral zones are represented. At Cañada Honda, a 400-m long outcrop spans a depth range of over 40 m, providing a rare opportunity to view modern reef structure. The outcrop, located on the northern shore of Lago Enriquillo, reveals several sediment layers that appear to represent single depositional events such as storms. Six coral facies occur in the outcrop (branching, mixed, 3 massive-coral zones, and platy). They reflect early deepening and transgression as sea level rose rapidly, followed by progradation of the shallowest facies over their deeper, massive counterparts as sea-level rise slowed - probably around 6,000 years ago. Based on 53 quadrats from 21 vertical transects, 63% of the reef was occupied by *in-situ* colonies (n=6400). One particular layer, rich in fragments of branching coral, bivalves and gastropods can be traced several meters within the outcrop and represents a timeline of a paleoreef surface. Over 50% of the corals immediately beneath this storm-debris layer in the massive-coral facies were already dead at the time they were buried. If this reflects conditions on the reef over time, then live-coral cover was less than half of what might be inferred from the raw coral data alone and shows that live coral may be inflated if compared with monitoring data from modern reefs. Coral and sediment changes in the coral-species assemblage, growth rate, siltation stress and skeleton geochemistry before and after the "storm layer" event are being studied. Coral and sediment samples were also collected throughout the entire outcrop to characterize the reef community structure. Within the dominant coral genera (*Montastraea* and *Siderastrea*) corals vary from hemispheres to conical to columnar forms as sedimentation presumably increased. The sediments incorporated in the coral skeleton will be examined to quantify the input and variations in terrigenous sedimentation through the section. Uranium series dating will be done in multiple coral samples to better constrain the time frame of the reef. Because the topographic context of the Bahía Enriquillo reefs can be readily discerned, it is easier to relate what is seen in outcrop to changing oceanographic conditions around the bay. The ability to compare outcrop measurements to monitoring and core data within a known depositional context will be increasingly important as we try to use the recent geologic past to better understand present reef decline in the face of increasing anthropogenic stress.



## **CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS CORDONES DUNARES DE LA PLAYA EL CANAL**

Lilietta Cardoso Velázquez (1), Roberto Díaz Martínez (1)

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico "Antonio Núñez Jiménez"

En el presente trabajo se realizó un estudio morfológico del sistema dunar de la playa EL Canal, ubicada en el municipio Frank País con vistas a establecer la posible evolución costera de los placeres eólicos y marinos asociados. Se utilizó la hoja topográfica 5178-II-d-3 a escala 1:10000, se digitalizaron las curvas de nivel con ayuda del Autocadmap – 2000. El modelo digital del relieve se obtuvo a través del Surfer versión 8.0. El estudio confirmó que estas formas de relieve se relacionan con pulsos sedimentarios espasmódicos vinculados con la intensa actividad erosiva del río Sagua de Tánamo y sus principales tributarios y la redistribución de los sedimentos por las corrientes marinas, las mareas y el viento. Por lo tanto nos permitió llegar a la conclusión que en la formación de estos cordones dunares se combinan procesos aluviales, marinos y eólicos, la edad y secuencia de formación y el desplazamiento que ha sufrido la costa desde el holoceno hasta la actualidad.



## CONTRIBUCIÓN SOBRE LAS CONCENTRACIONES MINERALÓGICAS EN LOS DEPÓSITOS RECIENTES DE LA PLATAFORMA NOROCCIDENTAL SECTOR MARIEL – SANTA LUCIA

**Víctor Estrada Sanabria**

GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla, CP 112000, Ciudad de La Habana, Cuba. e-mail: [gem@emarinis.geocuba.cu](mailto:gem@emarinis.geocuba.cu), [viktor@emarinis.geocuba.cu](mailto:viktor@emarinis.geocuba.cu)

### RESUMEN

En las bahías y zonas estuarinas entre las localidades litorales del Mariel y Santa Lucía de provincia La Habana y Pinar del Río, las fracciones texturales predominantes, son la clase cieno y cieno arenoso, ambos con espesores muy irregulares, desde los varios centímetros hasta los 40 ó 50 m según los datos más novedosos del método de la sísmica somera en la Bahía del Mariel. Sin embargo, para la región exterior y en los sectores de la macrolaguna retroarrecifal, están distribuidas las arenas carbonatadas de granos medio – finos con abundantes restos esqueléticos básicamente de *Halimeda* sp. sus espesores promedio fueron inferiores a 4 m. Asociado a los depósitos mapeados se revela en las muestras fluvio marinas evaluadas, la presencia de concentraciones de especies minerales, las cuales podrían estar compuestas en general por: anatasa andalucita, anfíboles, antimonita, apatito, barita, brookita, cianita, esfena, epidota, granate, hidróxidos de hierro, leucóxeno, magnetita, micas, pirita, piroxenos, rutilo, serpentina, sillimanita, turmalina, siderita y cobre nativo. Aunque, la región corresponde a la provincia mineralógica del tipo piritico – piroxeno – epidotica, dichas especies responden a una distribución geoquímica aleatoria en las fracciones pesadas analizadas, fue significativo sólo la especie mineral pirita para el segmento Cayo Inés de Soto – Jutías, con valores entre 11,3 y 93,4 gr/tn relacionada a las formaciones de arenas en barras con influencia terrígena. No fue comprobado el criterio de perspectividad en pequeños placeres, sobre el paleorelieve de la Bahía La Mulata, asociados a la presencia del Macizo de Cajalbana con corteza de intemperismo lateríticas y la proximidad de yacimientos piritico – polimetálicos, pirito – cupríferos.

### ABSTRACT

In the estuarine zone and bays between Mariel and Santa Lucía littorals located in Havana and Pinar del Río Provinces respectively, the dominant textural fractions, are the clay and clay-sandy classes, both with a very irregular thickness from cm until 40 or 50 m according to the most up date data obtained by shallow seismic method carried out in Mariel Bay. However, for the off shore region and retroarrecifal macrolagoon sectors, the carbonated sands with grain from medium to fine are distributed with many skeletal rests basically of *Halimeda* sp, which thickness are less than 4 m. Associated with these cartographed deposits, the presence of mineral concentrations are revealed in the fluvial -marine samples evaluated. These concentrations could be composed in general by: anatase andalucite, amphiboles, antimonite, apatite, barite, brookite, cianite, sphene, epidote, granate, Iron hydroxides, leucoxene, magnetite, micas, pyrite, pyroxene, rutile, serpentinite, sillimanite, tourmaline, siderite y native copper. In spite of the region corresponds to the mineralogic province of piritic- pyroxene- epidothic type, these mineral species respond to an aleatory geochemistry distribution in the heavy fraction. It was not verified the perspective criteria in small placers in La Mulata Bay paleo relieve, associated to the presence of the Cajalbana complex and the vicinity of locations in the pyrite – polymetallic ores



## INTRODUCCIÓN

El artículo que el autor ha alcanzado para la geociencia marina, deriva a mesa de trabajo de la compilación y reestructuración de la información geológica primaria del proyecto Geomar VIII según (Estrada y otros, 1989) y de posteriores geológica regionales y muy específicas para acciones socioeconómicas de prioridad regional (Perdomo, 2002).

De hecho, es un eslabón cualitativo y cuantitativo en referencia al trabajo de (Rodríguez y otros, 1992), aunque el área estudiada continua dentro de la proyección de investigaciones sobre los depósitos cuaternarios no consolidada.

Por vez primera, en la composición mineralógica del horizonte más superficial de los depósitos reciente del sector evaluado, se describe la presencia de más de un docena de minerales básicos y accesorios.

## MATERIALES Y METODOS

Los materiales de trabajos en la campaña de mar fueron los siguientes  
Carta náutica No. ICH No. 50003 "Parte Occidental de Cuba" escala 1: 500 000.  
Hoja topográfica No.17 – 5 escala 1: 250 000.

Entre los métodos de trabajo de mar y de trabajo en gabinete empleados, en opinión del autor se encuentra ampliamente descrito en (Estrada y otros, 1989, 2000; Gandarrilla y otros, 2001) Además, en la preparación de este artículo se efectuó el reprocesamiento estadísticos de los resultados primarios perteneciente al lote de muestras de jaguas seleccionadas, entre las colectadas en las diferentes locaciones del litoral investigado.

Reiteramos, que la toma de muestras de jagua en los sedimento recientes, para el análisis mineralógico, se ejecuto en el horizonte superior hasta la profundidad máxima de 0,60 y mínima de 0,20 m. Además, el sistema de posicionamiento POISK de fabricación, fue la base tecnológica empleada en los trabajos de mar en el año 1988 por la extinta Brigada GEOMAR.

## RESULTADOS

En Bahía del Mariel, la composición mineralógica registrada en el horizonte superior, muestra la presencia de magnétita, ilmenita, epidota, leucoxeno andalucita estaurolita, pirita y minerales del grupo de la serpentinita

En un segmento del litoral de la Ensenada Dominica, donde desemboca el río homónimo, según (González y otros, 2003) el reporte de concentración mineralógica en los depósitos superficiales alcanzo valores de 1025.08 g/tn, muy superior al promedio del territorio evaluado. Donde existe un predominio de seis componentes minerales: epidota, cromita, anfíboles, limonita y magnétita. Se pueden observar, además raros granos minerales correspondientes al grupo del apatito y del rutilo.





En la Bahía de Ortigosa la fracción ligera reveló la mayor concentración compuesta básicamente por los minerales cuarzo y feldespatos. Sin embargo, en las subfracción magnética y paramagnética pueden observarse entre otros magnetita, óxido – hidróxido, piroxenos, epidota, ilmenita, cromita granate y rutilo.

En la Bahía de Cabaña, los depósitos examinados se localizan en la desembocadura del río La Plata y La Colonia. Entre las cinco muestras descritas bajo microscopio binocular, la fracción pesada promedió registro los 3 758,7 g/tn, donde se destaca el mineral epidota y magnetita, aunque la fracción ligera es del dominio de los granos de cuarzo con el 75% del total.

En el área sumergida de Bahía Honda, excepto en una porción la estructura tectónica del canal de acceso, se puede observar una tendencia al predominio de los sedimentos arenos arcillosos de color gris oscuro, con poco contenido de restos esqueléticos y fuerte olor fétido. Aquí un lote de muestras colectadas corresponde con las jaguas de río, en las proximidades de descarga de la cuenca hidrográficas Nazareno, Montaña y Honda. La fracción pesada reveló la presencia de cuatro especies minerales: magnetita, epidota, ilmenita y cromita, aunque se apreciaron como minerales secundarios los siguientes: andalucita, estauroлита, cianita, esfena y sillimanita.

En cambio para la región marina de la referida bahía se estudiaron dos jaguas, ambas tomadas en las proximidades de los cayos Corojal y del Muerto, donde se describe la presencia de los minerales magnetita, ilmenita, limonita, epidota, además de trazas de zircon y pirita.

Como revela en cualquier comparación sencilla, existe una disminución o ausencia de varios minerales.

En el segmento próximo a la desembocadura del río Mani Mani los minerales reportados sobre la base de dos muestras de jaguas, fueron los minerales epidota, ilmenita y cromita. Donde el promedio de la fracción pesada es de 137,25 g/tn. La fracción ligera es básicamente de granos de cuarzo.

En los depósitos fluvio - marinos de la desembocadura del río Morrillo, solo se tomaron 3 muestras de jaguas, en las cuales se alcanzaron contenidos promedios de 17,80 g/ tn en la fracción pesada con predominio en la clase granulométrica < 0,5 de los minerales ilmenita, epidota y zircon. En particular en la fracción diamagnética se encontraron raros granos de los minerales anatasa, esfena y espinela.

En el río Puerco que drena al suroeste del cayo Levisa, la fracción pesada alcanza un contenido promedio de 2561 gr/tn. Aquí se describe la presencia del mineral magnetita, cromita, epidota, anfíboles, zircon, leucoxeno, rutilo y siderita. Como secundario en las muestras se destacan los minerales siguientes: turmalina, anatasa, y granate. Según el analista mineralogista, especialista del Laboratorio Isaac del Corral, Lissabet, E (1988) la presencia de cristales de siderita podría considerarse un pseudomorfo de la barita. En cambio para la muestra de jagua No 76 la única colectada en el cauce del río Rico Rico, registro un peso de 376 gr/ tn con predominio de la fracción electromagnética con las especies magnetita, limonita, anfíboles y cromita.

En la zona de Playa pajarito se ubica sólo la muestra JM 71 con contenido promedio de 33,1 gr/tn en su fracción pesada, donde se observaron los minerales: cromita, cuarzo, anatasa, leucoxeno, apatito pirita globular.



En las proximidades de la desembocadura del río Rosario, en la ensenada de Verraco, se ejecutaron tres muestras de jaguas, cuyo contenido promedio es de 30 gr/tn, representado en su contenido mineralógico por magnetita, limonita, zircon, pirita y trazas de epidota, leucoxeno y rutilo. Además, registro la presencia de otros granos minerales tales como: anatasa, barita, brookita, apatito siderita.

En la Tabla I se expone el análisis de las muestras de jaguas colectadas en el área de la macrolaguna entre los cayos Jutías y Inés de Soto.

## DISCUSIÓN

El sector investigado posee una longitud de 150 km. Sin embargo desde el criterio oceanográfico y geomorfológico presenta dos singulares ecosistemas costeros. El primero corresponde a una sección de costa continua truncada por varias bahías del tipo bolsas tales como: Mariel, Cabaña y Honda. Donde básicamente desembocan cuencas hidrográficas del 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> orden, dentro del nivel jerárquico de la vertiente septentrional. El segundo ecosistema es el sub - archipiélago Los Colorados, desde el Faro Gobernadora hasta cayo Jutías al noroeste de la Bahía de Santa Lucía. Fig.1.

Las investigaciones en las escalas medianas para la cartografía de las capas de sedimentos superficiales, demuestran que el término de muy similares para las bahías de la región septentrional de Cuba, se emplea de modo absorbente por (Ionin y otros, 1977). Esta región de la plataforma marina insular cubana, presenta ambiente terrígeno y terrígeno - carbonatado. Donde los depósitos acumulados superan los 30 m de espesor en la bahía del Mariel, Honda Santa Lucía según datos publicados por (Estrada, 1988; 1996; 2000; Perdomo y otros, 2002).

Los investigadores de Cuba y la extinta Unión Soviética en trabajos a escala regional, habían clasificado el terreno emergido como provincia del tipo piritico – piroxeno – epidotica según (Rodríguez y otros, 1992) aunque en la parte marina determinaron una provincia mineralógica de tipo carbonática con énfasis en las bahías de la región.

La Bahía de La Mulata recibe el aporte de los ríos Morrillo, Zanja, San Marco y Las Cadenas. Donde por las características estructuro – metalogénicas de las cuencas de alimentación investigaciones citadas por (Estrada y otros, 1988) señalaron la posibilidad de formación de placeres enriquecidos por la presencia del Macizo de Cajalbana. Sin embargo, mas recientemente los trabajos de (Martín y otros, 1998) revelaron las magnificas potencialidades para metales preciosos en 8 sectores e vinculados a las rocas ofiolíticas y las secuencias vulcanogenos – sedimentarias de la formación Encrucijada.. Además, según (López y otros, 1998) con las citadas rocas intrusas se relacionan los yacimientos auro – arsenopriticos , donde un producto de la asociación del oro con los carbonatos (dolomita y calcita) y con los sulfuros y sulfosales.

## CONCLUSIONES

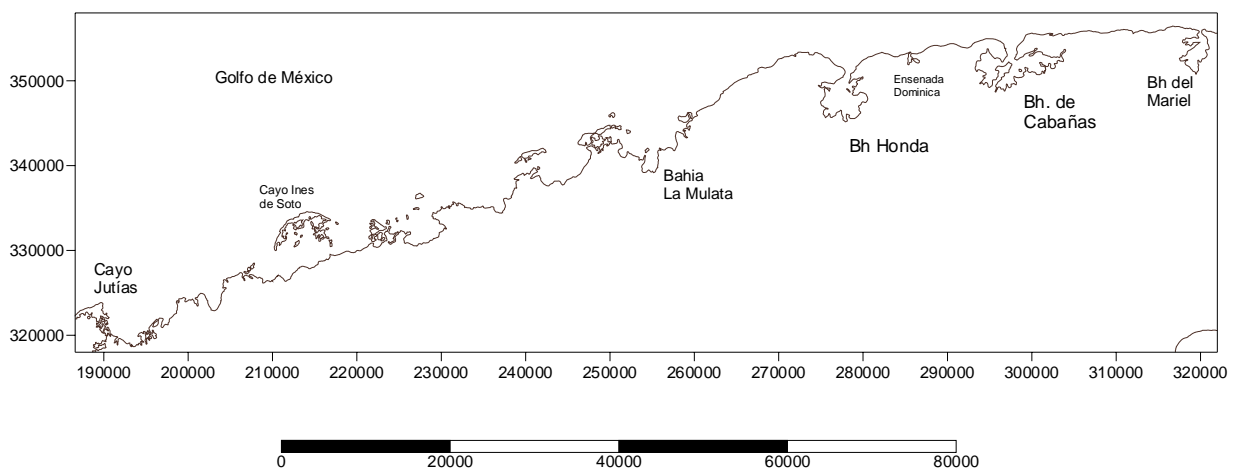
La relación entre las fuentes de aporte y la composición mineralógica reportada en los sedimentos fluvio – marino y marino, demuestra la necesidad de reevaluar la toma de muestra de sedimentos para los horizontes subyacentes de Bahía Honda, La Mulata y sectores litorales con potencial enriquecimiento en la deposición del acarreo de las cuencas tributarias Los datos

disponible en la zona marina son insuficientes para validar el criterio de perspectiva en pequeños placeres, sobre el paleorelieve de la Bahía La Mulata, asociados a la presencia del Macizo de Cajalbana con corteza de intemperismo lateríticas y la proximidad de los yacimientos piritico – polimetálicos, pirito – cupríferos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Estrada Sanabria, V., R. Corrada, V. Ramos y otros, 1989. Prospección de arenas marinas para la construcción en el tramo costero Santa Fé- Santa Lucía. Plataforma noroccidental de Cuba. Escala 1: 50 000. Archivo ONRM.
- Estrada Sanabria, V., 2000. Tesis de Maestría: Estudio Geológico del yacimiento de arena de mar Boca de Bahía Honda y sus áreas adyacentes. Universidad Hermanos Saíz Pinar del Río
- Gandarrilla, J. V. estrada., 2001. Exploración geólogo – geofísica de las arenas en la plataforma marina Norte de los cayos Mégano Grande, Cruz y Confite. Camagüey, Informe técnico GEOCUBA Estudios Marinos.
- González, E. R. Barbeito, J. Artilles, A. Dávila y otros, 2003. Derrotero de las costas de Cuba. Región Marítima Sur. Edición de agosto, La Habana, EDIMAR, 94p.
- Ionin, I., O. Avello, Y. Pavlidis, 1977. Geología de la plataforma marina insular de Cuba. (Traducción).
- López, J., J. Moreira, G. Pantaleón, 1998. Tipos mineralógicos de algunos yacimientos auríferos de Cuba. Geología y Minería 98' Memorias Versión Resumida I, Editado por el Centro Nac. Inform. Geológ, 371 - 374.
- Martin, E., E. Barris, 1998. Resultados preliminares de la prospección de metales preciosos (Au – Ag) en la región de Bahía Honda. Geología y Minería 98' Memorias Versión Resumida I, Editado por el Centro Nac. Inform. Geológ, 400 – 403.
- Peñalver, L y otros. 1998. Versión actualizada Mapa del Cuaternario de Cuba y la plataforma marina insular Escala 1: 500 000. Geología y Minería 98' Memorias Versión Resumida I, Editado por el Centro Nac. Inform. Geológ,
- Perdomo; J., J. Gandarrilla. A. Lizama, 2003. Nueva terminal de contenedores en La Habana. Investigaciones geólogo – geofísicas. Programa y Libro de Resúmenes. Congreso de Ciencia del Mar
- Rodríguez, R., C. Hernández., V. Estrada 1992. Nuevos datos acerca de los placeres de minerales pesado útiles en la plataforma insular marina. . Revista Tecnológica No.- 1, Vol. XXI.

Fig. 1. Ubicación de la región de estudio





No de Muestras	18 <sup>a</sup> (g/tn)	19 (g/tn)	19 <sup>a</sup> (g/tn)	19b (g/tn)	20 <sup>a</sup> (g/tn)	29 (g/tn)	30 (g/tn)	31 (g/tn)	33 (g/tn)	35 (g/tn)	38 (g/tn)
<b>Minerales</b>											
Anfíboles	3.8										
Carbonato	8.4				6.5	2.4	1		20.9	54.6	14.1
Cromita	27.4										
Epidota	0										
Estaurolita	69.1					5.8					
Ilmenita	0									8.8	0.8
Limonita	13.1	0.2		10.6		59.6	0.1	1288.9	36.8		
Magnétita	0	0.8		21.5		24.2	0.4	45.9			
Pirita	15.9		11.7	39.6	8.9	12.9	0.1	10.3	11.3	93.4	
Rutilo	0		4.9		0.2						
Serpentinita	68										
Zircón	0	0.5		0.7	3.5		0.1	6.4	3.5		
Promedio	17.14	0.5	8.3	18.1	3.821	20.98	0.34	337.8	18.12	52.26	7.45
Desv.poblac	24.38	0.24	3.4	14.42	3.48	20.70	0.34	549.29	12.41	34.57	6.65
Varic pobla	594.4	0.06	11.5	208.2	12.1	428.5	0.12	301720	154.2	1195	44.22
Desv Prom	18.84	0.2	3.4	12.45	3.10	16.73	0.28	475.51	10.72	28.97	6.65
Mediana	6.1	0.5	8.3	16.05	3.5	12.9	0.1	28.1	16.1	54.6	7.45
Interv Conf.	14.40	0.14	2.00	8.52	2.05	12.23	0.20	324.60	7.33	20.43	3.92

**Tabla I – Análisis estadístico de las muestras de jaguas marina de sector Inés de Soto – Cayo Jutía.**

## DISTRIBUCIÓN FACIAL DE LOS CORALES DE LA FORMACIÓN JAIMANITAS EN UN ÁREA AL OESTE DE COJÍMAR, CIUDAD DE LA HABANA

Yunia Perera Montero <sup>(1)</sup>, Reinaldo Rojas Consuegra <sup>(2)</sup>

(1) Empresa Nacional de Perforación y Construcción, Calle Virtudes 680 esq. Belascoain, Centro Habana, Ciudad de la Habana, Cuba.

(2) Museo Nacional de Historia Natural de Cuba, Obispo # 61, Plaza de Armas, Habana Vieja, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: [rojas@mnhnc.inf.cu](mailto:rojas@mnhnc.inf.cu)

### RESUMEN

La Formación Jaimanitas (Pleistoceno) exhibe una amplia extensión a lo largo de la costa de varias regiones de Cuba. Se caracteriza por su rica macrofauna fósil, particularmente la de corales; aunque aun poco estudiada. El objetivo del trabajo fue conocer la distribución facial de los corales de esta unidad, con el fin de realizar la reconstrucción paleoambiental del área de estudio. De las especies reportadas en trabajos anteriormente solo 2 coinciden con las detectadas en esta investigación, mientras se reportan para la unidad 10 nuevas especies: *Diploria strigosa*, *Montastraea cavernosa*, *M. annularis*, *Acropora cervicornis*, *Isophyllia rigida*, *Colpophyllia natans*, *Eusmilia fastigiata*, *Madracis decactis*, *Meandrina meandrites*, *Agaricia humilis*. El Mapa facial, a escala de detalle, permitió determinar la existencia de las siguientes facies: Facies de *framestone* A de *Diploria* y *Montastraea* (ffadm), Facies de *bafflestone* de *Acropora* (fba), Facies de *rudstone* de *Acropora* (fra), Facies de *floatstone* (ff), Facies de *framestone* B de *Diploria* y *Montastraea* (ffb), Facies de *rudstone-grainstone* con *Strombus*. El modelo paleoambiental logrado muestra que en el pasado en el área existió una cresta arrecifal, relacionada con el desarrollo de un arrecife franjeante o costero.

### ABSTRACT

The Jaimanitas Formation (Pleistocene) exhibits a wide extension along the coast of several regions of Cuba. It is characterized by their rich fossil macrofauna, particularly that of corals; although even little studied. The objective of this work was to know the facial distribution of the corals of this unit, with the end to carry out the paleoambiental reconstruction at the study area. The facial map was elaborated to detail scale, being determined the following facieses: *Framestone* A of *Diploria* and *Montastraea* (ffadm), *Bafflestone* of *Acropora* (fba), *Rudstone* of *Acropora* (fra), *Floatstone* Facies (ff), *Framestone* B of *Diploria* and *Montastraea* (ffb), *Rudstone-Grainstone* with *Strombus*. Two only space of the ten species studied during the present investigation, they had been reported in previous works, and therefore here eight new species of corals are reported for this unit: *Diploria strigosa*, *Montastraea cavernosa*, *M. annularis*, *Acropora cervicornis*, *Isophyllia rigida*, *Colpophyllia natans*, *Eusmilia fastigiata*, *Madracis decactis*, *Meandrina meandrites*, *Agaricia humilis*. The paleoambiental model obtained indicates that during the Pleistocene in the area, a riff crest existed, related with the development of a franjeant or coastal reef.

## INTRODUCCION

Se conoce como corales pétreos a un grupo de organismos que constituyen el orden Scleractinia pertenecientes a la clase Anthozoa que viven fijos en el fondo marino. Dentro de él, se distinguen en el presente trabajo 6 familias, según la clasificación de Alloiteau (1952, 1957).

Esta investigación trató los corales de la Formación Jaimanitas (Brodermann, 1940), de edad más probable Pleistoceno Medio Superior (Albear e Iturralde-Vinent, 1985), en un área al oeste de Cojímar. El objetivo principal del estudio fue el de conocer la distribución facial de las distintas especies de corales existentes en el área, mediante el mapeo detallado, la toma e identificación de muestras de las diferentes especies, y la reconstrucción paleoambiental.

Este trabajo es fruto de la colaboración entre el Departamento de Geología de la Facultad de Geología y Mecánica de la Universidad de Pinar del Río (MES) y el Departamento de Paleogeografía y Paleobiología de la Vicedirección de Investigaciones del Museo Nacional de Historia Natural de Cuba (AMA-CITMA).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales utilizados en el presente trabajo, provienen de diferentes fuentes. Una parte de la información que ha sido tomada de trabajos anteriores, mayormente de las investigaciones paleontológicas regionales llevadas a cabo en Cuba, especialmente los materiales de las investigaciones paleontológicas que incluyen la fauna de corales cubanos. Sin embargo, la mayor parte de los materiales son originales, obtenidos durante la ejecución de las observaciones detalladas de campo.

El trabajo de campo se llevó a cabo en un área donde están bien expuestas varias litologías de la Fm. Jaimanitas, ubicada en un tramo costero de entre 500 y 1000 m al oeste del poblado de Cojímar. La superficie aflorada ocupa la franja intermareal costera, situada ligeramente por encima del nivel cero del mar.

Los métodos de campo constituyeron la principal vía de obtención de la información en el terreno, con la ayuda de los típicos instrumentos del geólogo; y además los medios y técnicas para lograr la limpieza de la muestra con el fin de permitir una clara identificación taxonómica. Para el levantamiento facial y la elaboración del mapa, se cuadrículó el área de observación con la ayuda de puntillas para concreto e hilo, en una red de 2 x 2 metros.

Se trabajó a una escala de 1: 40 reflejándose las diferentes facies de corales y litologías acompañantes en los sectores trabajados, para lograr conocer la distribución espacial, e intentar el acercamiento al modelo paleoambiental.

Se elaboró directamente en el terreno el esquema gráfico primario, necesario para la confección de los mapas faciales. La observación se apoyó fundamentalmente en la fotografía digital, además se realizó la medición, la toma de muestras, con la conformación de una colección de estudio; depositada en el Museo Nacional de Historia Natural, y la Universidad de Pinar del Río.



Para la distinción de los tipos biogénicos de facies de los carbonatos autóctonos y alóctonos (calizas arrecifales) se utilizó la clasificación de Embray y Klevan (1971), completada por James (1984): *bafflestone*, *framestone*, *rudstone* y *floatstone*.

La identificación de los corales se logró con el apoyo del especialista en corales vivos del Instituto de Oceanología M. Sc. Sergio Gonzáles, ya que las especies encontradas en estado fósil en esta área aún viven en los mares tropicales actuales.

## RESULTADOS

El área es una zona de relieve muy suave, con escasas ondulaciones. Por su altitud va desde el nivel del mar (0 m) hasta unos 2 m. El relieve aumenta suavemente hacia el sur, donde la cota máxima es de 10 m; presentando una superficie caracterizada por terrazas poco pronunciadas. El terreno cartografiado es prácticamente llano y se encuentra situado en la zona intermareal, episódicamente anegado por el agua marina durante los eventos climáticos más energéticos, como frentes fríos y tormentas tropicales.

La presencia de grietas en el área muestra la acción de ligeros movimientos de levantamiento del terreno. Las grietas en general son de tipo extensivas, y no se observa rellenamiento. Estas se encuentran dirigidas principalmente hacia el noreste.

Según los trabajos anteriores la fauna conocida de la Fm. Jaimanitas está determinada principalmente por sus corales, identificados hasta este momento las siguientes especies: *Acropora palmata*; *Agaricia agaricites*; *Cladocora arbuscula*; *Favia fragum*; *Manicia areolata*; *Porites asteroides*; *Stephanocoenia intercepta*. En menor cantidad y variedad se han encontrado conchas de moluscos, así como vermes y foraminíferos (Albear e Iturralde-Vinent, 1985).

Durante el presente trabajo, la identificación de las especies de corales reveladas, permitió la elaboración de la lista sistemática para la Fm. Jaimanitas en el área estudiada. Ella comprende seis familias, nueve géneros y 12 especies.

### Sistemática Paleontológica

Aquí, está aceptado el orden sistemático según Alloiteau (1952, 1957), con algunas adiciones, según Vaughan y Wiello (1943), Wells (1956) y Chevalier (1961, 1971, 1975).

#### Phylum Coelenterata

##### Clase Anthozoa

##### Orden SCLERACTINIA Bourne, 1900

(Grupo conocido informalmente como corales).

##### Suborden: ARCHEOCAENIIDA Alloiteau, 1952

##### Familia: ACROPORIDAE Verrill, 1901-1902

##### Género: ACROPORA Oken, 1815

*Acropora cervicornis* (Lamarck, 1816) Verrill, 1901-1902

*Acropora palmata* (Lamarck, 1816) Verrill, 1901-1902

##### Suborden: ASTRAEOIDA (Alloiteau, 1952)

**Familia:** STYLOPHORIDAE Milne Edwards et Haime, 1857

**Género:** MADRACIS Milne Edwards et Haime, 1849  
*Madracis decactis* (Lyman, 1859) Verrill, 1864)

**Familia:** FAVIIDAE Alloiteau, 1952; Gregory, 1900

**Género:** DIPLORIA Milne Edwards et Haime, 1848  
*Diploria strigosa* (Dana, 1846) Vaughan y Wells, 1943

**Género:** COLPOPHYLLIA Milne Edwards et Haime, 1848b, p. 492  
*Colpophyllia natans* (Houttuyn, 1772) Matthai, 1928

**Género:** MONTASTRAEA de Blainville, 1830.  
*Montastraea cavernosa* (Linnaeus, 1766) Vaughan and Wells, 1943

*Montastraea annularis* (Ellis and Solander, 1786) Vaughan and Wells, 1943

**Familia:** MUSSIDAE Ortmann, 1890

**Género:** ISOPHYLLIA Milne Edwards et Haime, 1851  
*Isophyllia rigida* (Dana, 1848-1849) Verrill, 1864

**Suborden:** MEANDRIIDA Alloiteau, 1952

**Familia:** MEANDRIIDAE Alloiteau, 1952

**Género:** MEANDRINA Lamarck, 1801, p. 372  
*Meandrina meandrites* (Linnaeus, 1758) Lamarck, 1801

**Género:** EUSMILLIA Milne Edwards et Haime, 1848a, p. 63  
*Eusmilia fastigiata* (Pallas, 1766) Milne Edwards et Haime, 1848

**Suborden:** FUNGIDA Duncan, 1884

**Familia:** AGARICIIDAE Gray, 1847

**Género:** AGARICIA Lamarck, 1801, p. 373  
*Agaricia agaricites* (Linnaeus, 1758) Dana, 1846  
*Agaricia humilis* Verrill, 1901

Se revela que de las especies listadas dentro de la macrofauna de la Fm. Jaimanitas (Albear e Iturralde-Vinent, 1985) solo dos especies (*A. palmata* y *A. agaricites*) coinciden con las reportadas en el presente trabajo. Mientras las restantes cinco especies allí mencionadas no fueron identificadas en el área de estudio.

La anterior contradicción solo podría ser resuelta realizando estudios de revisión taxonómica, mediante la comparación del material antiguamente reportado y los ejemplares colectados actualmente.

Con los nuevos reportes que incluye la presente investigación se amplía significativamente el registro de corales fósiles de la unidad estudiada, por lo que este resultado constituye un importante aporte al conocimiento del grupo.

## Distribución facial

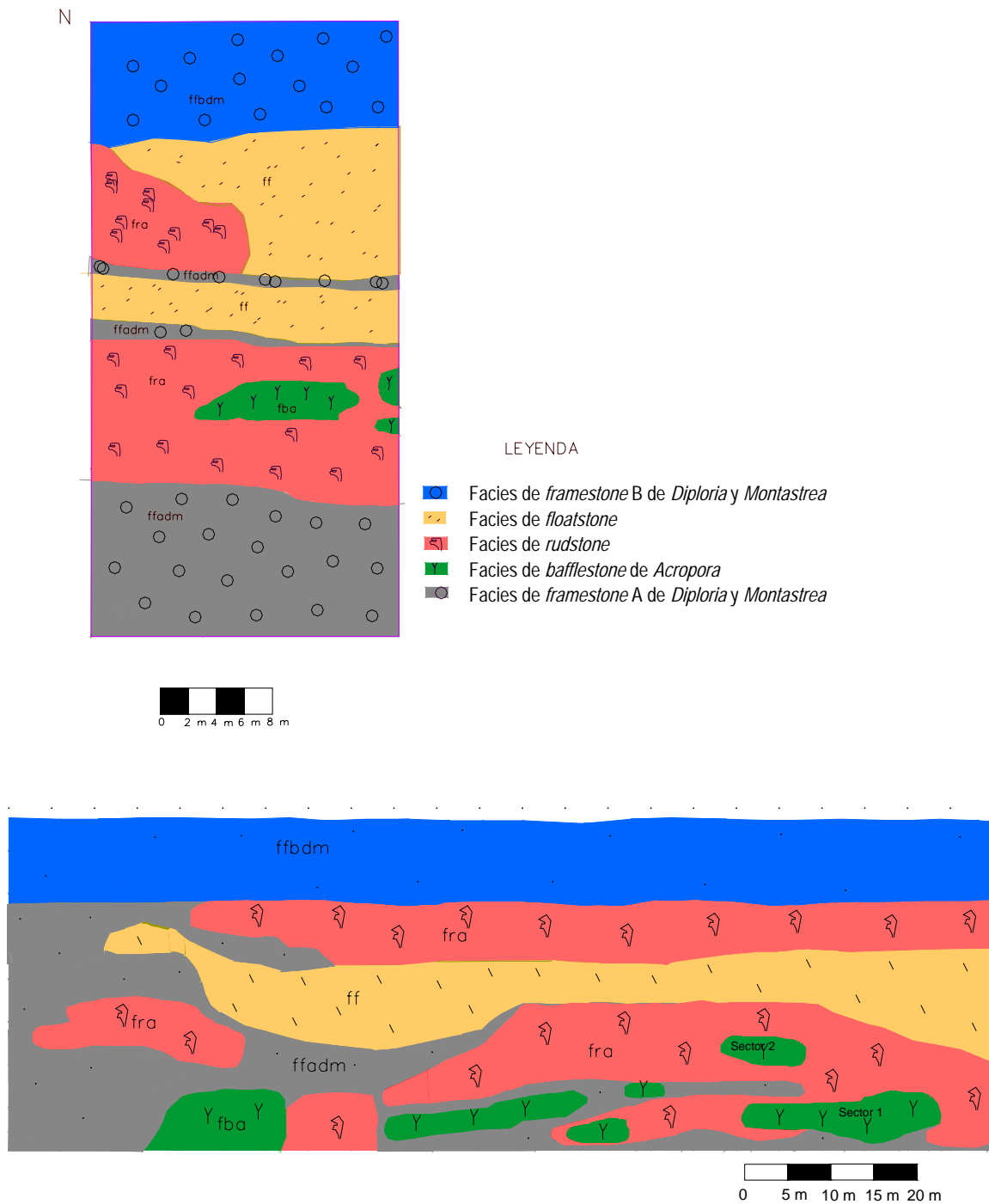


Figura 1 Mapa de la distribución facial en el área estudiada.

La descripción de las facies identificadas en el área se hace con el objetivo principal de realizar observaciones detalladas de la distribución de la fauna de corales en un segmento de la franja costera que ocupa la Fm. Jaimanitas, y que está muy extendida a lo largo de muchas costas cubanas.

Los mapas faciales confeccionados muestran el patrón de distribución espacial de las diferentes asociaciones de especies de corales identificados (Fig. 1).

#### Facies de *Framestone A* de *Diploria* y *Montastraea* (ffadm),

La alta densidad de especies como *Diploria strigosa*, *Montastraea cavernosa* y *Montastraea annularis* (Fig. 2, 3 y 4), vulgarmente llamados "corales cabezones" es el elemento que la distingue de las demás facies. Existe una gran cantidad de individuos, los cuales se encuentran muy unidos, y la matriz es menor del 10% (Fig. 1).

Los diámetros de estas especies varían desde los 110 mm hasta los 500 mm, correspondiendo las mayores dimensiones a la especie *M. cavernosa*, para la cual se reconocieron diámetros de hasta 500 mm.



Figura 2 *Diploria strigosa*

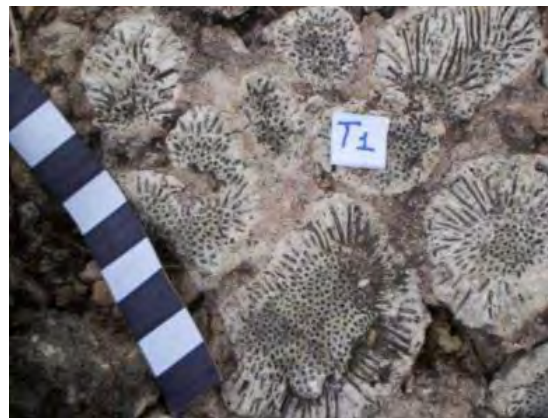


Figura 3 *Montastraea cavernosa*



Figura 4 *Montastraea annularis*

#### Facies de *Bafflestone* de *Acropora* (fba)

La facies (Fig. 1) dominada por *A. cervicornis* (Fig. 5), de forma ramosa, ocupa los núcleos arrecifales de las crestas, rodeada de *A. palmata*. Las ramas de los individuos fósiles estudiados son muy gruesas, superiores a sus semejantes vivientes en los mares actuales de la región (Sergio Gonzáles, Com. Pers., 2004).

La cantidad de matriz en esta facies es menor de 20 %, siendo muy porosa, de grano fino de coloración blanca y gris claro. Es evidente la baja variedad de especies, pues solo se documentó la presencia de *Madracis decactis* (Fig. 6).





Figura 5 *Acropora cervicornis*



Figura 6 *Madracis decactis*

Facies de rudstone de *Acropora* (fra)

El predominio de la especie *Acropora palmata* (Fig. 7), y la alta densidad de individuos por unidad de área, en posición de vida, muestra la existencia en el pasado de un arrecife coralino (Fig. 1).



Figura 7 *Acropora palmata*



Figura 8 *Eusmilia fastigiata*

Esta facies tiene la peculiaridad de contener además las siguientes especies: *D. strigosa* (Fig. 2), *M. cavernosa* (Fig. 3), *M. annularis* (Fig. 4), *E. fastigiata* (Fig. 8), *A. agaricites* (Fig. 9), *A. humilis* (Fig. 10), *M. meandrites* (Fig. 11).

La facies se caracteriza porque las diferentes especies aparecen mezcladas, evidentemente fuera de su lugar de vida o producción, y además presentan dimensiones, en cuanto a diámetro, muy desiguales.

Los diámetros de la especie *A. palmata* varían desde los 150 mm hasta los 250 mm. Los fragmentos de los brazos de esta especie se encuentran orientados de este a oeste principalmente, probablemente reorientado bajo la acción del oleaje o las corrientes.



Figura 9 *Agaricia agaricites*



Figura 10 *Agaricia humilis*

#### Facies de floatstone (ff)

Esta facies (Fig. 1) está caracterizada por contener fragmentos de corales de diferentes especies (excepto *A. cervicornis*), incluso encontramos ejemplares de la especie *Isophyllia rigida* (Fig. 12), la cual no se había reportado en las anteriores. La matriz es areno-arcillosa, de grano medio, de color amarillento, hasta gris claro.



Figura 11 *Meandrina meandrites*

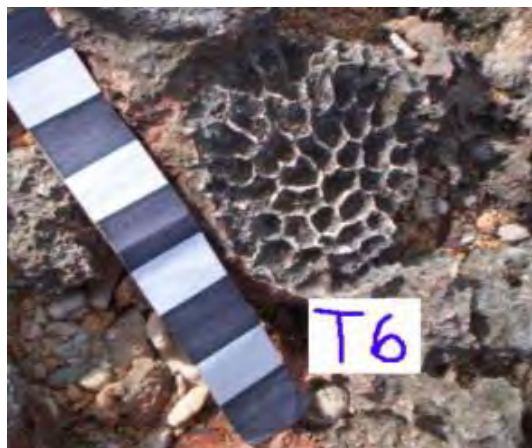


Figura 12 *Isophyllia rigida*

Aquí aparecen corales disueltos, cuyos diámetros eran de aproximadamente 80-100 mm y no presentan una orientación definida.



### Facies de *framestone* B. de *Diplora* y *Montastrea* (ffb)

Esta facies (Fig. 1), que es muy parecida a la Facies de *Framestone* A., está compuesta principalmente por las especies *D. strigosa*, (Fig. 2), *M. cavernosa* (Fig. 3), *M. annularis* (Fig. 4), y más raramente, incluye algunos ejemplares de otras especies.

Esta facies está situada en la interface tierra-mar, o nivel cero. Tiene una distribución en forma de franja paralela a las facies anteriores, mientras que el *Framestone* A., tuvo una disposición más parecida a la de los parches arrecifales (Fig. 1). Eventualmente esta facies puede estar activa en la actualidad.

La ligera diferencia, en la mayor relación de la matriz y sus componentes, que existe respecto a la mencionada facies, pudiera estar relacionada con pequeños cambios en la energía del medio, la cual pudo haber disminuido hacia el momento actual; o se trata de situaciones deposicionales distintas.

### Facies de *rudstone-grainstone* con *Strombus*

Esta facies (Fig. 1) se incluye en el presente estudio, porque a pesar de no estar constituida estrictamente por corales, sí está directamente relacionada con el ambiente arrecifal, y más específicamente con los medios interarrecifal o postarrecifal. En estas facies biodetríticas son muy abundantes los gasterópodos grandes, predominantemente de la especie *Strombus giga*.

Las conchas de aquel molusco presentan tallas variables, pero predominantemente tiene entre 160-200 mm de longitud, y un ancho de unos 150-180 mm. En algunos puntos se detectan débiles orientaciones del eje largo de las conchas. También es variable su posición respecto a la horizontal, pero es muy probable que existan individuos en posición de vida o producción. En general, se constata una amplia distribución areal de aquella población, aun cuando en algunos lugares podrían existir acumulaciones "artificiales".

## **DISCUSIÓN**

Los datos obtenidos, a través de los trabajos de detalle realizados, permitieron realizar la interpretación paleoambiental del área de estudio.

### **Paleoecología**

A partir de la ecología de las especies de corales reportados, y que se conocen en vida, se planteó la interpretación paleoecológica de las diferentes asociaciones que componen las facies distinguidas, realizándose un acercamiento al paleoambiente que debió existir en el área durante el Pleistoceno medio a tardío. Las observaciones tafonómicas realizadas apoyan las interpretaciones que se asumen durante la reconstrucción paleoambiental.

#### *Aspectos tafonómicos*

La tafonomía es la disciplina paleontológica que se ocupa del estudio de los procesos que intervienen en la formación de los fósiles, desde la muerte o realización de la entidad

paleobiológica (organismo, sus partes y huellas), transporte, enterramiento y fosildiagénesis (Fernández, 1989).

A lo largo de la evolución geológica, los corales, como otro de los grupos de organismos bentónicos sésiles, estuvieron sometidos a diferentes procesos geotectónicos y ambientales ocurridos en nuestra región geográfica. No obstante, esta biota ha persistido en nuestra región, aunque con diferente desarrollo en distintas etapas, en unas representadas por poblaciones relativamente diezmadas, y en otras con un marcado predominio en los medios más somero del ambiente marino (Iturralde-Vinent, 2004).

Con la muerte del organismo (especies de corales) daban inicios los procesos posteriores de transporte o enterramiento. Cuando la muerte del coral ocurría debido a causas como, cambios de temperatura, incremento de la salinidad, contaminación, probablemente fueran enterrados o recubiertos por otras generaciones de ellos.

En los casos, cuando ocurrían cambios negativos importantes del nivel eustático (somerización del medio) con toda probabilidad los esqueletos coloniales ramificados eran destruidos como resultado del incremento de la energía hidrodinámica (oleaje y corrientes); produciéndose cierto retrabajado y transporte, y resedimentación.

No obstante, en el área predominan las entidades conservadas *in situ*, como indican las facies de *framestone* y *bafflestone*. En la facies de *rudstones*, *floatstone* y *grainstone* se evidencian procesos de arrastre y destrucción mecánica y biogénica, con acumulación alóctona, y en menor grado, para autóctona, de los elementos orgánicos.

Las conchas de *S. gigas*, en general parecen estar tanto *in situ*, como relativamente transportadas, aunque en muy escaso grado; pues se observan abundantes entidades conservadas completas o muy poco fragmentadas. En general predominan dentro de los *rudstone-grainstone*, sedimentos interpretados como de laguna interior o plataforma interna restringida, ambiente donde estos moluscos son comunes.

#### *Interpretación paleoambiental*

Los datos obtenidos durante las observaciones de campo de las diferentes facies sedimentarias y de la fauna contenida en las mismas, principalmente corales, junto a la información recopilada sobre la ecología de las especies fósiles estudiadas, que tiene sus homólogos vivientes, permiten ensayar un acercamiento al paleoambiente que existió en el área en el pasado reciente.

Los componentes *in situ*, la alta densidad de individuos y la prácticamente compacta estructura que presenta la Facies de *Framestone* A. de *Diplora* y *Montastraea*, así como la forma predominantemente esférica a columnar ancha de las especies presentes, indican la correspondencia de esta facies con un arrecife en el pasado reciente; expuesto a condiciones de relativamente alta energía.

Se deduce la existencia de un medio batido por el oleaje y las corrientes (eventualmente incrementados durante los episodios de tormenta), situado por encima de la base de ola, muy somero; probablemente coincidente con las condiciones más dinámicas de una cresta arrecifal.

Según su disposición areal, esta facies parece haberse desarrollado alrededor de las facies de *A. palmata*, situadas más hacia el centro de la franja arrecifal (Fig. 1).

En la Facies de *Bafflestone* de *Acropora* dominada por *A. cervicornis*, de forma ramosa, ocupó los núcleos arrecifales de las crestas, rodeada de *A. palmata*. Las ramas de los individuos fósiles estudiados son muy gruesas, superiores a sus semejantes vivientes en los mares actuales de la región (Sergio Gonzáles, Com. Pers., 2004). Este hecho, puede indicar la prevalencia de condiciones ambientales más propicias para el desarrollo de los corales en la región en el pasado reciente, lo cual pudiera estar revelando la ocurrencia de un cambio ecológico negativo hacia la actualidad.

En algunas zonas se detectan orientaciones dominantes de los elementos alargados, lo cual señala la acción de corrientes unidireccionales que actuaron sobre los individuos.

En el mapa facial estos parches se encuentran dentro de la Facies de *rudstone* de *A. palmata*, donde probablemente eran protegidos por esta especie, que es muy resistente a los regímenes turbulentos. Su distribución aparece más bien por parches, a diferencias de otras facies que aparecen en forma de franja.

El predominio de las especies de *Acropora*, en la Facies de *rudstone* de *Acropora*, y la alta densidad de individuos en posición de vida por unidad de área, muestra la existencia en el pasado de un arrecife coralino.

El gran grosor de los tallos y ramas de estas colonias indican que su desarrollo tuvo lugar en un medio muy energético, bien iluminado y oxigenado, cálido y con suficiente alimento (principalmente por las algas Zooxantelas, fotosintéticas).

La orientación preferencial de las ramas, en una dirección determinada (aproximadamente hacia el norte) parece indicar la incidencia de las corrientes marinas y/o el oleaje en sentido de norte a sur.

La especie *A. palmata* se encuentra en la cresta coralina, protegiendo a la especie *A. cervicornis*, ya que esta es más frágil y por tanto menos resistente a la influencia del fuerte oleaje.

Las Facies de *floatstone* sugiere un medio con energía de moderada a alta, que producía el arrastre y acumulación de arenas biotriticas, con transporte de fragmentos o bioclastos de tallas mayores. Podría, eventualmente, atestiguar etapas de tormentas ocasionales. Esta facies puede haberse originado en el talud y la pendiente prearrecifal de la barrera, hacia mar abierto.

Las Facies de *framestone* B. de *Diplora* y *Montastrea*, muy parecida a la Facies de *Framestone* A., estaba situada en la interface tierra-mar, o nivel cero. Esta facies tiene una distribución en forma de franja paralela a las facies anteriores, mientras que el *Framestone* A., tuvo una disposición más parecida a la de los parches arrecifales. Eventualmente esta facies pudiera estar activa en la actualidad.

La ligera diferencia, en la mayor relación de la matriz y sus componentes, que existe respecto a la mencionada facies, podría estar relacionado con pequeños cambios en la energía del medio, tal vez con una disminución hacia el momento actual; o tratarse de situaciones deposicionales distintas.

La Facies de *rudstone-grainstone* con *Strombus*, rica en material biodetrítico con abundantes gasterópodos grandes, puede mostrar la existencia en el pasado de lagunas interiores o interarrecifales, dispuestas entre parches, con un ambiente protegido de medios menos energéticos.

Las débiles orientaciones reveladas de las conchas de aquel molusco (*S. gigas*) podrían estar relacionadas con la acción de episodios energéticos altos, y en algunos casos con la ecología de la especie; lo cual no fue posible distinguir.

La alta abundancia de individuos en un área relativamente pequeña, y el sostenido tamaño de los individuos (media de 200 mm de largo) que conformaban aquella población, muestran un ambiente rico en nutrientes muy propicio para la vida de los organismos bentónicos vágiles.

Un dato interesante, como indicador ambiental es el hecho, de que en la región actualmente, son escasos los individuos vivientes de esta especie que alcancen las tallas señaladas, y además, sus poblaciones prácticamente no existen, pues han sido casi totalmente diezmadas.

### Modelo paleoambiental

Como se muestra en el modelo paleoambiental (Fig. 13) las facies estudiadas tuvieron su desarrollo en una plataforma marina somera. Las facies más resistentes a los regímenes de alta energía ocuparon el núcleo de la cresta arrecifal (*A. palmata*); mientras en su periferia y hacia la laguna protegida (medio postarrecifal) y en el talud, se establecieron los corales ramosos (*A. cervicornis*).

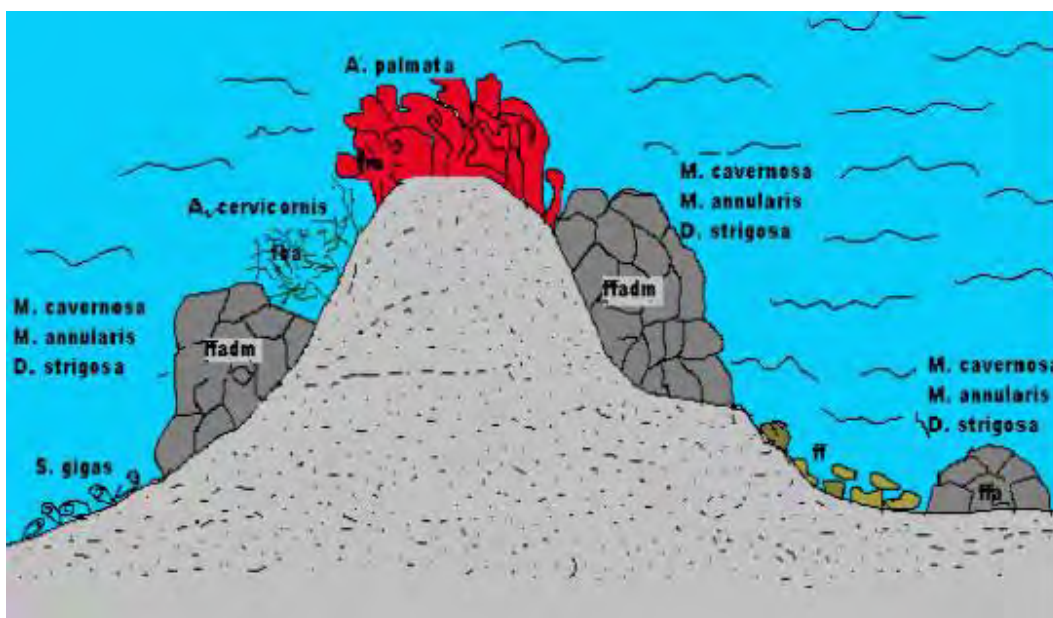


Figura 13 Modelo paleoambiental.

Los corales cabezones (*M. cavernosa*, *M. annularis*, *D. strigosa*) habitaron en la parte baja de la cresta en el talud hacia la laguna y en el talud prearrecifal, en un medio altamente energético.

Los gasterópodos (*S. gigas*) tuvieron mucho éxito en el ambiente retroarrecifal, llegando a formar ricas poblaciones dentro de la laguna, en una zona más protegidas.

Estas condiciones sugieren la existencia de un ambiente marino muy somero, probablemente correspondientes a una cresta arrecifal, probablemente con parche arrecifales asociados, pero dentro de un arrecife costero, sin una separación significativa de la línea litoral, por tanto con una laguna interna relativamente estrecha. En general, los elementos anteriormente deducidos conformaron una plataforma carbonatada somera.

El paleoambiente así deducido en el área, debió prevalecer en algún momento del lapso comprendido entre 700-115 Ka atrás, y como puede apreciarse del modelo planteado, difiere del ambiente litoral existente en la zona actualmente, donde parece predominar un arrecife franjeante, en una costa de tipo abrasiva.

Este cambio deducido en el ambiente sedimentario, en un período de tiempo relativamente corto, equivale a la ocurrencia de un levantamiento general progresivo en la región, aun cuando puede haber sido inducido por las variaciones eustáticas globales del Pleistoceno más tardío al Holoceno temprano.

## CONCLUSIONES

Se elaboró el mapa facial detallado de las principales litologías de la unidad en el área de trabajo, lo cual puede ser útil para la evaluación del pasado reciente.

Se confeccionó la lista sistemática de los corales en la Fm. Jaimanitas, que comprendió seis familias, nueve géneros y 12 especies, de la cuales, se reportaron 10 por primera vez para esta unidad: *Diploria strigosa*, *Montastraea cavernosa*, *M. annularis*, *Acropora cervicornis*, *Isophyllia rigida*, *Colpophyllia natans*, *Eusmilia fastigiata*, *Madracis decactis*, *Meandrina meandrites*, *Agaricia humilis*.

En el área estudiada se determinaron seis facies diferentes, a saber: Facies de *framestone A* de *Diploria* y *Montastraea* (ffadm), Facies de *bafflestone* de *Acropora* (fba), Facies de *rudstone* de *Acropora* (fra), Facies de *floatstone* (ff), Facies de *framestone B* de *Diploria* y *Montastraea* (ffb), Facies de *rudstone-grainstone* con *Strombus*; las cuales pudieran identificarse en otras regiones.

Las facies más resistentes a los regímenes de alta energía ocuparon el núcleo de la cresta arrecifal (*A. palmata*); mientras en su periferia y hacia la laguna protegida (medio postarrecifal) y en el talud, se establecieron los corales ramosos (*A. cervicornis*); habitando hacia la parte baja de la cresta, en el talud hacia la laguna y en el talud prearrecifal, los corales cabezones (*M. cavernosa*, *M. annularis*, *D. strigosa*).

El modelo paleoambiental deducido muestra que durante un lapso del Pleistoceno en el área existió una cresta arrecifal, relacionada con el desarrollo de un arrecife franjeante o costero; distinto a la situación actual.



El cambio revelado en el ambiente sedimentario del área, en un lapso de tiempo relativamente corto, equivaldría a la ocurrencia de un levantamiento general progresivo en la región.

Las variaciones negativas observadas, en cuanto a parámetros morfométricos, en individuos de algunas de las especies de corales aun vivientes, en comparación con individuos actuales, pudiera considerarse como indicadores del deterioro ecológico sufrido por el ambiente marino en la región hacia la actualidad.

## BIBLIOGRAFIA

- Albear e Iturralde-Vinent (1985) en Contribución a la geología de las provincias de La Habana y Ciudad de la Habana. Instituto de Geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba; Ed. Científico-Técnica, 51-53.
- Arango y Molina R (1877): Radiados de la Isla de Cuba. R. Acad. Cienc. Méd., Fís. y Nat., Habana, An., 14: 272-284.
- Bak, Rolf P. M., and S. R. Criens (1982): Experimental fusion in Atlantic *Acropora* (Scleractinia). *Marine Biology Letters* 3, no. 2: 67- 72.
- Bak, Rolf P. M.; Brouns, J. (1977). Regeneration and aspects of spatial competition in the scleractinian corals *Agaricia agaricites* and *Montastrea annularis*. 3rd Int. Coral Ref. Symp.; Miami, Fla. 143-148.
- Bak, Rolf. P.M., and Steward Van Es (1980). Regeneration of superficial damage in the scleractinian corals *Agaricia agaricites*-f. *purpurea*- and *Porites asteroides*. *Bull. Marine Science* 30, no. 4: 883-87.
- Bogdanov, D. V (1968): En las costas de Cuba (en ruso). Moscú, 2: 62-67.
- Boone, L (1928): Coelenterata from tropical east arnerican seas. *Buil. Bingham. Oceanogr. Coll.* 1(5): 1-8.
- Boone, L (1933): Scientific results of cruiser of the yacht 'Eagle' and 'Ara', 1921-1928. William K. Vanderbilt. commanding. Coelenterata, Echinodermata and Mollusca. *Bull. Vanderbilt Mar, Mus.*, 4, Huntington, L. I., New York, 217 pp.
- Bronnimann, P. Y D. Rigassi (1962): Contribution to the geology and paleontology of the area of the city of La Habana, Cuba, and its surroundings. *Eclog. Geol. Helv.*, vol.56.no. 1: 204-205.
- Buchibinder, B. (1977): Different responses to diagenesis of various coral groups in the Miocen Ziglag fómation, Israel. Sec. Symp. Internal. Coraux et Récifs Coralliens Fossiles, Paris, Mém. B. R. G. M., 89: 26-32.
- Buissonjé. P. H (1974): Neogene and Quaternary geology of Aruba, CuraVao and Bonaire. *Natuuriv. Studierking voor Suriname de Nederlanse Antillen, Utrecht..* 78: 1-293.
- Cant, R. V (1973): Jamaica's Pleistocene reef terrace. *Geol. Muin.*, 52: 157-160.
- Chevalier, J. P (1954): Contribution á la révision de polypiers du genre *Heliastrea*. *Ann. Hébert Haug. travaux Lab. Geol. Fac. Sec. Univ. Paris.* 8: 105-188.
- Contribución a la geología de Cuba oriental (1983). Instituto de Geología y Paleontología. Academia de Ciencias de Cuba. Ed. Científico-Técnica: 77-219.
- Coryell, H. N. and Ohlsen, V (1929): Foisil corals of Porto Rico, with description also of few Recent species. *Surv. Porto Rico and Virginian Island*, 3: 167-236.
- Dana, J. D (1875) : Corals and Coral Islands. London, (1-20): 1-348.
- Darwin, C (1842). The structure and Distribution of Coral Reefs. The University of Arizona Press, Tucson.
- Duchassaing, P. and Michelotti, J. (1861): Mémoire sur les corallaires des Antilles. *Mém. Acad. Sec. Turin.*, sér, 2, 19: 279-363.
- Duncan, P. M. (1876): Notices of some deep sea and littoral corals from the Atlantic Ocean, Caribbean, Indian, New Zeland, Persian Gulf, and Japanese & c. seas. *Zool. Soc London*: 428-442.
- Embry, A. F., J. E. Klován (1971): A late Devonian reef tract on northeastern Backs Islands, Northwest Territories. *Bull. Can. Petrol. Geol.* 19 : 730-781.



- Fernández-López, S. (1989): La materia fósil. Una concepción dinamicista de los fósiles. En: Nuevas tendencias: Paleontología (Ed. E. Aguirre). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 25-45.
- Franco, G. (1975): Las eolinitas del occidente de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. Inst. Geología y Paleontología. Serie Geológica. 17: 1-12.
- Franco, G. (1982): Desarrollo de las facies coralinas desde el Oligomioceno hasta el reciente en Cuba oriental, en Contribución a la geología de Cuba oriental. Academia de Ciencias de Cuba. Inst. Geología y Paleontología; Ed. Científico-Técnica: 217-238.
- Frost, S. H. (1972): Eolution, Cenozoic Caribbean coral faunas. Conf Geol. Caribb. Margarita, Venezuela. 6: 461-464.
- Frost, S. H. y Langenheim, L. R. (1974): Cenozoic reef biofacies Tertiary large Fora\_ minifera and Scleractinian corals from Chiapas, México. Northern Illinois Univ. press. Kaib. ilinois, 11:388 pp..
- Geister, J. (1975): Los arrecifes de la isla San Andrés (Mar Caribe, Colombia). Mitt Inst. Colombo. Alemán Invest. Cient., Santa Marta, 7: 221-228.
- Goreau, T. F. *et al.* (1972): Structure and ecology of the Saipan reefs in relation to predation. Bull. Mar. Sci., Univ. Miami.
- Gruner, H. E. (1967): Kubanische korallen für Berlin. Poseidon, 64(4): 150-153.
- Guilcher, A. (1957): Morfología litoral y submarina. Ediciones Omega. Barcelona.
- Hoskins, C. W. (1964): Molluscan biofacies in calcareous sediments. Gulf of Batabanó, Cuba. Bull. Amer. Assoc. Pet. Geol., 48(10): 1 680-1 704.
- Huelbes, A. J. (compilador) (1986): Paleontología. Ministerio de Educación Superior. Ed. Pueblo y Educación: 113- 124.
- Iturralde-Vinent, M. (2004): Origen y desarrollo de las formaciones coralinas del Caribe. En: *M. Iturralde-Vinent (ed.) Origen y evolución del Caribe y sus biotas marinas y terrestres*. (CD ROM). La Habana: Centro Nacional de Información Geológica (IGP). ISBN 959-7117-14-2.
- Iturralde-Vinent, M. (2003): Ensayo sobre la paleogeografía del Cuaternario de Cuba. Memórias Resúmenes y Trabajos, V Congreso Cubano de Geología y Minería, CD ROM, ISBN 959-7117-11-8., 74 p.
- Kaden, J. (1968): Reef bewohner in aquarium. II. Wirbellose. Poseidon, 77(5): 235-237.
- Keller, N. B., Krasnov, Y. E. (1975): Sobre los corales madreporarios del Cenozoico Superior de Cuba» (en ruso). Sbornik Rabot, Inst. Biol. Mar. D. V.N. C. Vladivostok, 4:201-204
- Kramer, H. (1967): Die liebe technik! (Kubanische korallen für Berlin). Poseidon, 72(12): 563- 565.
- Lang, W. D. (1971): Homeomorphy in fossil corals. Proc. Geol. Assoc. 28.
- Lighty, R. G. (1977): Relict shelfedge Holocene coral reef in southeast coast of Florida. Proe. Third Internatl. Coral Reef Symp., Miami Geol. 2: 215-221.
- Macintyre, J. G. (1972): Subinert reef of eastern Caribbean. Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull., 56(4): 720-738.
- Matthews, R. K. (1973): Relative elevation of Late Pleistocene high sea level stand on Barbados uplift rates and their implications. J Quart. Res. 3(1): 147-153.
- Mergner, H. (1971): Structure, ecology and zonation of Red. Sea reef (In comparison with south India and Jamaican reef). Symp. Zool. Soc. London, 28: 141-161.
- Mesolella, K. J. (1967): Zonation of uplifted Pleistocene coral reef on Barbados, West Indies. Sci., 156: 638-640.
- Milne E. And Haime, J. (1848-1951) : Recherches sur les polypiers.» Ann. Sej. Nat. Sér. 3., Paris. Mongr., 39: 263pp.
- Nagy, E. y otros (1976): Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1:250 000, levantado y confeccionado por la Brigada Cubano-Húngara entre 1972 y 1976 (Manuscrito). Arch. Inst. Geol. Pal., Acad. Cien. Cuba.
- Neumann, A. C. and Moore, W. S. (1975): Sea level events and Pleistocene coral ages in the northern. Bahamas. Quart. Res. 5: 215-224.
- Pallas, P. S. (1766): Elenchus zoophytorum system generum adumbrationes generalles et specierum cognitarum succinetas descriptiones cum selectis autorum synonymis. Hagae, Comitum, Petrum van Cleef.: 451 pp.
- Pingitore, N. E. (1970): Diagenesis and porosity modification in Acropora palmata. Pleistocene of Barbados, West Indies. J. Sedimentary Pptr., 40(2): 712-721.
- Pingitore, N. E. (1976): Vadose and phreatic diagenesis: Processes, products and their recognition

- in corals. *J. Sedimentary Petr.*, 46(4): 985-1006.
- Richter, R. (1967): Unsere arbeitsmethoden (Kubanische korallen für Berlin).» *Poseidon*, 71(11): 486-489.
- Rivero, L. H., y Bermúdez, P. J. (1938): Expedición biológica a los mares de Cuba concertada entre las Universidades de Harvard y de La Habana. *Publ. Rev. Univ. Habana*: 24 pp.
- Rutten, M. G. (1936): Geology of the northern part of the province Santa Clara, Cuba. *Geogr. Geol. Meded. Phys. Geol.*, Reeks, Utrecht, 11: 59 pp.
- Sánchez Roig, M. (1928): Instituto Nacional Científico y Museo de Historia Natural, La Habana, 220 pp.
- Schubert, C. (1977): Pleistocene marine terrace of La Blanquilla Island, Venezuela, and their diagenesis. *Proc. Third Internatl. Coral Reef Symp.*, Miami, Geol., 2 149-154.
- Schubert, C. and S. Valastro (1976): Quaternary geology of La Orchila Island, central Venezuela offshore, Caribbean sea. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 87: 1 131-1 142.
- Shanzer, E., P. Petrov y G. Franco: Sobre las formaciones costeras del Holoceno de Cuba. *Academia de Ciencias de Cuba. Inst. Geología y Paleontología. Serie Geol.* 21: 1-26, 1975.
- Smith, F. G. W. (1972): Atlantic Reef Corals. Coral Gables, Florida. Univ. Miami Press: 164 pp.
- Smith, F. G. W. (1948): Atlantic Reef Corals. Coral Gables, Florida, Univ. Miami Press: 122 pp.
- Squires, D. F. (1958): Stony coral from. the vicinity of Bimin~ Bahamas, British West Indies. *Bull. Amer. Muss. Nat. Hist.*, 115(4): 217-262.
- Stanley H. Frost. (1972): Evolution of cenozoic caribbean coral faunas. VI Conferencia Geológica del Caribe; Venezuela: 461- 464.
- Taege, M. And Wagner, J.(1975): Taucher am korallenriff. VEB. F. A. Brockhaus Verlag Leipzig: 156.
- Vaughan, T. W (1919): Fossil corals from Central America, Cuba, and Porto Rico with
- Vaughan, T. W. (1901): The Eocene and Lower Oligocene coral faunas of the United
- Vaughan, T. W. y J. W. Wells. Revision of the Subordes, Families, and Genera of the scleractinia". *Geological Society of America Special Papers. Estados Unidos; Vol. 44, 1943.*
- Veron, J. E. N. Corals of the World. Australian Institute of Marine Science. Townsville; Vol. 1, 2000.
- Verril, A. E. (1866): On the polyps and corals of Panama with descriptions of new species. *Proc. Boston Soc. Nat.* 10: 323-335.
- Wagner, J. (1967): In den riffen von Arroyo Bermejo. Mubanische Korallen für Berlin). *Poseidon*, 68(8): 346-350.
- Weisbord, N. (1971): Corals from the Chipola and Jackson Bluff Formations of Florida. *Geological Bulletin No. 53. Tallahassee.*
- Weisbord, N. E. (1968): Some late Cenozoic stony corals from northern Venezuela. *Bull. Amer. Paleontol.*, 55(246): 288 pp.
- Weisbord, N. E. (1973): New and little known corals from the Tampa formation of Florida. *Bull. Bureau Geol., Tallahassee, Florida*, 56: 156.
- Weisbord, N. E. (1974): Late Cenozoic corals of south Florida. *Bull. Amer. Paleontol.* 66(285): 259-543. p1s. 21-57.
- Wells; J. W. (1941): Upper Cretaceous corals from Cuba. *Bull. Amer. Paleontol.*, 26(97): 1-16; 282-298, pls. 1-2, 42-43.
- Wells; J. W. (1971): Note on *Scolymia lacera* and *S. cubensis* in Jamaica. *Bull. Mar. Sec.*, 21(2): 960-963.
- Wells; J. W. (1974): A new genus of scleractinian coral from the early Tertiary of Venezuela. *Verhandl. Natur. Ges. Basel*, Bd. 84(1): 377-381.
- Zenkovich, V. P. (1965). Costas coralinas de Cuba. (en ruso). , *Vokrug Sveta*, 12:12-13.
- Zenkovich, V. P. (1969): Zonas someras de Cuba occidental y sus sedimentos.(en ruso). *Oceanologia*, 9(2): 256-270.
- Zlatarski, V.; Estalella N.: Les Scleractinaires de Cuba. *Académie Bulgare des Sciences. Institut Géologique*, 1980.
- Zlatarski, V: Sobre la fauna coralina de Cuba (Manuscrito). *Circ. Mus. Bibl. Zool. Habana*, 1972.



## CARACTERIZACIÓN GEÓLOGO, GEOTÉCNICO-AMBIENTAL DEL SECTOR SANTA LUCIA - NUEVAS GRANDES

**Humberto Jesús Antúnez Batista, Ramón Lahera Romero, Enrique González Melián.**

UIC. ENIA. Camagüey. Carretera central Este Km 5½. E-Mail: [uiccmg@caonao.cmw.inf.cu](mailto:uiccmg@caonao.cmw.inf.cu)

### RESUMEN

El presente trabajo constituye una valoración integral del medio ambiente en el sector Santa Lucía - Nuevas Grandes en litoral noreste de la provincia de Camagüey, a partir de la evaluación y sintetización de la información geotécnica existente, con el auxilio de métodos tales como análisis estadísticos, fotointerpretación, escenarios comparados, levantamientos ingeniero-geológicos y geológicos, todo esto montado sobre tecnología digital.

Se incrementa la calidad y precisión del pronóstico geotécnico, valorándose en su conjunto las actividades generadoras de impactos, la vulnerabilidad del medio natural y las características de todos los componentes del medio ambiente, realizándose zonificaciones del territorio a partir de sus potencialidades para determinado uso y de las mejores opciones teniendo en cuenta su uso actual y su interrelación con el medio socioeconómico, donde sea necesario considerar las características geológicas y geotécnicas del territorio, al poder disponer, procesar y analizar en plazos muy breves los volúmenes de información hasta ahora imposibles de manejar e integrar en una misma investigación de forma eficiente. Como resultado se expone toda la información en cartografía digital, elemento necesario para llevar a cabo el ordenamiento territorial y la ubicación más favorable de cualquier tipo de obra, teniendo en cuenta criterios naturales y económicos, así como las medidas para garantizar el equilibrio ambiental, lo que permitirá el análisis complejo de orden territorial y una herramienta esencial en todas las investigaciones y proyectos de cimentaciones que se realicen en el territorio, proyectos de carácter regional para la planificación urbana, estudios ambientales, mapas ingeniero geológicos regionales.

### ABSTRACT

The present work constitutes an integral valuation of the environment in the sector Santa Lucía - Nuevas Grandes in northeast coast of the county of Camagüey, starting from the evaluation and sintetización of the geotécnical information, with the aid of such methods as statistical analysis, fotointerpretación, compared scenarios, engineer-geologic and geologic risings, all this mounted on digital technology.

It is increased the quality and precision of the predict geotécnico, being valued in their group the generating activities of impacts, the vulnerability of the natural means and the characteristics of all the components of the environment, being carried out zonificaciones of the territory starting from their potentialities for certain use and of the best options keeping in mind their current use and their interrelation with the socioeconomic means, where it is necessary to consider the geologic characteristics and geotécnicas of the territory, to the power to prepare, to process and to analyze up to now in very brief terms the volumes of information impossible to manage and to integrate in oneself investigation in an efficient way.

As a result all the information is exposed in digital cartography, necessary element to carry out the territorial classification and the most favorable location in any work type, keeping in mind natural and economic approaches, as well as the measures to guarantee the environmental balance, what will allow the complex analysis of territorial order and an essential tool in all the investigations and projects of foundations that are carried out in the territory, projects of regional character for the urban planning, environmental studies, regional geologic maps engineer.



## INTRODUCCIÓN

La zona de estudio ocupa una superficie aproximada de 380 Km<sup>2</sup>, la misma se ubica en la porción NE de la provincia de Camagüey, a 120 Km de la capital provincial (por carretera). Entre las bahías de Nuevitas y Nuevas Grandes, en las Hojas cartográficas 1:25 000 4780-1-b (Punta de Prácticos) y 4780-1-d (Playa Santa Lucía).

En el se hace una descripción sobre los impactos causados por la actividad antropogénica además son descritos los componentes bióticos, abióticos y socio-económicos, se confeccionó un plan de medidas con vista al mejoramiento ambiental del sector.

Con el objetivo de incrementar la calidad y precisión del pronóstico geotécnico y valorar en su conjunto las actividades generadoras de impactos, la vulnerabilidad del medio natural y las características de todos los componentes del entorno y así realizar zonificaciones del territorio a partir de sus potencialidades para determinado uso, teniendo en cuenta su uso actual y su interrelación con el medio socioeconómico, donde sea necesario considerar las características geológicas y geotécnicas del territorio.

Como resultado se expone toda la información en cartografía digital, elemento necesario para llevar a cabo el ordenamiento territorial y la ubicación más favorable de cualquier tipo de obra, teniendo en cuenta criterios naturales y económicos, así como las medidas para garantizar el equilibrio ambiental, lo que permitirá el análisis complejo de orden territorial y una herramienta esencial en todas las investigaciones y proyectos de cimentaciones que se realicen en el territorio, proyectos de carácter regional para la planificación urbana, estudios ambientales, mapas ingeniero geológicos regionales.

Para llevar a cabo este trabajo fue necesaria la realización de un volumen determinado de trabajos como la recopilación y procesamiento de toda la información existente, itinerarios de reconocimiento.

## CARACTERIZACION GEOLOGICA.

La región de estudio está enmarcada en la cobertura neoa autóctona, rocas terrígeno - carbonatadas, donde los sedimentos yacen sobre un basamento heterogéneo, cubriendo el Complejo Cretácico Vulcanógeno-Sedimentario de la formación Caobilla, un Complejo carbonatado semejante a la formación Nuevitas y rocas serpentiniticas de la asociación ofiolítica, sobre el basamento recién formado se desarrolla una nueva unidad geotectónica que se denomina plataforma moderna, en ella se acumulan sedimentos holocénicos, cuaternarios representados por la formación Jaimanitas (js Q<sub>2-3</sub> S).

La parte inferior del corte esta constituida por rocas de la formación Caobilla compuesta por paquetes, conteniendo sedimentos arcilloso-arenoso con fragmentos calcáreos y fauna; cantos rodados compuestos de fragmentos (frecuentemente volcánicos) cretácicos, con matriz envolvente arenosa principalmente; gravas arcilloso-arenosas con fauna y arcillas. El espesor real de este paquete varía desde unos metros (al Sur y Sureste) hasta más de 25 m al Norte, donde, sin embargo, en algunos lugares en este volumen se incluyen también las capas de caliza y rocas de la asociación ofiolítica que se caracterizan por ser un fragmento alóctono de la cuenca oceánica antigua de origen Jurásico - Cretácico, constituida por rocas del basamento melanocrático como lo son la hasburgita, dunitas, herzolitas con diferentes grados de serpentización y que conforman un melange gigante serpentinitico con los gabroides y rocas efusivas.

La parte media del corte es terrígeno - carbonatada semejante a la formación Nuevitas (nv P<sub>2</sub><sup>3</sup>), constituida generalmente por caliza biógenas, biogenodetríticas de coloraciones claras (gris claro, blanco amarillento) carsificada, con intercalaciones de arcilla, calcarenitas de coloraciones oscuras (carmelitas) y arcillas.

Formación Jaimanitas (js Q<sub>2-3</sub> S), cubre toda la región de Santa Lucía, ocupa la parte superior del corte constituida por calizas biodetríticas masivas, generalmente carsificada muy fosilífera



conteniendo principalmente conchas bien preservadas. Las cavidades cársticas en ocasiones se encuentran rellenas por material arcilloso carbonatado. Presenta una potencia presumible de 20 a 30 m en área contigua a la costa.

Los sedimentos Holocénicos lo constituyen pantanos, playas, barras y dunas actuales que se desarrollan en los extremos norte, este y oeste del territorio, ocupando una zona inmediata a la costa con espesores muy pequeños.

### **Tectónica**

A partir del eoceno superior y hasta la actualidad han ocurrido movimientos en dos direcciones fundamentales, en área de estudio los desplazamientos horizontales prevalecen sobre los verticales que si tienen una marcada actividad en la península de Guincho. En Santa Lucía la superioridad de los desplazamientos horizontales se manifiesta claramente con un relieve llano, donde el escurrimiento superficial es casi nulo, los valles fluviales son muy pocos profundos o no existen, el descenso del terreno se define en las lagunas interiores El Real - Daniel, que sirven de escurrimiento a toda la planicie del litoral.

### **Hidrología Superficial y Subterránea.**

**Hidrología superficial:** En la zona de estudio no existe una red superficial organizada debido a la forma llana del terreno. El escurrimiento fluvial (promedio anual oscila entre 200 y 300 mm). Esta zona no se considera como área inundable debido al alto desarrollo del carso, lo que permite una rápida infiltración de las aguas de las precipitaciones, mezclándose con las aguas subterráneas. El accidente hidrográfico más relevante lo conforman el complejo de lagunas "El Real - Daniel".

**Hidrología subterránea:** En el área puede señalarse la existencia de dos acuíferos fundamentales, según Sánchez Torres, 1998; uno más joven poco potente y de extensión reducida que se desarrolla en las arenas costera del holceno (entre Residencial y Mayanabo) y otro que ocupa las rocas pleistocénicas de la formación Jaimanitas (js Q<sub>2-3</sub>S).

El acuífero más joven se encuentra limitado verticalmente por el techo de la caliza biógena y calcarenitas de Jaimanita que se consideran prácticamente impermeable tiene una potencia de 4 m. El acuífero constituido por las rocas de la formación Jaimanitas tiene una amplia distribución en la región y constituye la unidad hidrogeológica de mayor interés.

Las mayores profundidades de yacencia de las aguas subterráneas se localizan en la parte central del acuífero entre 2.0 - 3.5 m a finales del período seco. Las aguas son del tipo clorurada bicarbonatas sodicas calcicas con una mineralización superior a los 3 g/l.

### **Geomorfología.**

El territorio se encuentra ubicado en la unidad geo-tectónica del margen continental cubano, caracterizada por la presencia de grandes espesores de rocas carbonatadas, entre las cuales el complejo cuaternario juega un papel fundamental en la diferenciación regional y local del desarrollo morfoestructural.

A lo largo de esta región los movimientos neotectónicos tardíos han heredado y activado las estructuras geológicas más antiguas, predominando el estilo germánico en bloques de horst y de graben, lo cual ha determinado la distribución morfoestructural de la exogénesis y con ellos los tipos poligenéticos del relieve.

La amplia distribución de rocas carbonatadas en esta cuenca marginal condicionó la formación de una llanura abrasivo-carsificada, limitada al norte por una llanura abrasivo-acumulativa y al sur por una orla lacuno-palustre. En la llanura abrasivo-carsificada se destaca el desarrollo amplio de formas cársticas, entre ellas de dolinas con diámetros variables, pero predominando las medianas (10-15 m de diámetro) y las grandes (mayores de 20 m). Ambas se caracterizan por no poseer una profundidad superior a los 1-1.5 m. La litología en este sector ha condicionado la formación de un carso desnudo suave con alta densidad de casimbas.

En la plataforma submarina se destaca la suave pendiente que representa la llanura acumulativa holocénica hasta la barrera coralina con zonas cubiertas de *Thalassia*, así como extensiones de ripple mark que se extienden desde dicha llanura hasta las rupturas que





presenta la barrera coralina, la cual pone de manifiesto la comunicación entre la parte superior de la pendiente submarina y otros elementos del relieve emergido. La llanura abrasivo-acumulativa de 0.5-2.0 m de profundidad aparece asociada regularmente a la parte interior de la barrera coralina.

La barrera coralina que se extiende paralelamente a la costa, por su disposición y altura (1.0-2.0 m) sobre el fondo favorece la estabilidad y desarrollo de la playa al comportarse como un rompeolas natural. Hacia el interior de la barrera coralina, la llanura abrasivo-acumulativa con regularidad aparece compuesta fundamentalmente por restos de corales, mientras que hacia el interior de la terraza prearrecifal denudativa presenta surcos profundos en disposición perpendicular a dicha terraza, los cuales aumentan tanto en ancho como en profundidad a medida que se alejan del zócalo de la barrera coralina. Dichos surcos presentan unos centímetros de ancho, en la parte superior alcanzan hasta 10 y 20 m en profundidades superiores a los 20 m.

La comunicación a través de la ruptura de la barrera coralina y los surcos sobre la terraza prearrecifal favorece el escape de sedimentos en los momentos de máxima erosión costera. Este transporte de sedimentos se hace mas acusado en las zonas de pendientes fuertes con presencia de cadenas de ripple marks.

Tanto en los bordes de la terraza prearrecifal como en el talud insular, aparecen nichos profundos y niveles de terrazas submarinas asociados a las variaciones del nivel del mar y a los movimientos tectónicos.

El talud insular pronunciado comienza desde los 20 m con cambios de pendientes asociados a los diferentes niveles de terrazas hasta los 45 m. A partir de dicha profundidad el decline es vertical con un ángulo de próximo a los 90°.

## CARACTERIZACION GEOTECNICA.

De acuerdo al comportamiento geotécnico la zona se dividió en tres complejos:

**Complejo de Sedimentos Finos (cieno):** Aparece restringido a la zona de lagunas y zonas bajas donde se ubican los manglares, estos suelos han sido estudiados muy puntualmente, por lo que existe poca información acerca de los mismo en el área de estudio, presentan un espesor que oscila entre 1.0 -3.70 m, es de color gris oscuro con cierto olor fétido, en ocasiones se recupera en forma compacta y en otras totalmente fluida, son muy compresible, por tanto son suelos de poca favorabilidad constructiva.

**Complejo Arenoso:** Se encuentra distribuido en la franja litoral a lo largo de 19 Km, con ancho variable, correspondiéndose con la llanura abrasiva acumulativa costera, su espesor llega hasta los 4.00 m de profundidad. Según el Sistema Único de Clasificación de Suelos (SUCS) clasifica como un suelo SW (arenas uniformes con gravas, poco o nada de fino), la composición primaria de este material es partir de restos de conchas y corales, debido a que la principal fuente de aportes de sedimentos es la barrera coralina situada al norte de la región. Este complejo presenta un grado de favorabilidad constructiva medio.

Tabla N° I. **Características Físico - Mecánicas del Complejo Arenoso**

Humedad Natural (W %)	22-24
Densidad Humeda ( $\delta_d$ KN/m <sup>3</sup> )	16.7
Densidad Seca ( $\delta_d$ KN/m <sup>3</sup> )	13.68
Peso Especifico ( $G_s$ KN/m <sup>3</sup> )	27.1
Módulo de deformación (E, Kpa)	7500
Penetración Dinámica ( $N_{spt}$ )	10-35
Angulo de fricción interna ( $\Phi^0$ )	31-35
Densidad relativa o compacidad relativa	Densa





**Complejo Rocoso:** Aflora directamente en la superficie ocupando todo una franja en el extremo sur del sistema de lagunas, también se encuentra subyaciendo al complejo arenoso, estas rocas están compuestas por calizas organógenas de color blanco crema de dureza media con abundante microcarso, el RQD es menor de 32 %; este complejo se correlaciona con el complejo territorial de la llanura baja plana de 1 a 3 m carsificada sobre calizas con rendzina pardo humificada con bosque siempre verde micrófilo, yanales a jucarales, ocupa una gran extensión al Sur del área y se destaca en esta localidad la superficie plana menor de 1 m, carsificada con dolinas ocasionalmente inundadas constituyendo una zona de transición entre las lagunas y la superficie carsificada. La favorabilidad constructiva es buena.

Tabla N<sup>o</sup> II. **Características Físico - Mecánicas del Complejo Rocoso**

Resistencia a la Compresión Simple Seca( $\sigma_c$ Kpa)	9300-9800
Resistencia a la Compresión Simple Saturada( $\sigma_c$ Kpa)	1840-5300
Densidad saturada( $\delta_s$ KN/m <sup>3</sup> )	18.11
Peso Especifico ( $G_s$ KN/m <sup>3</sup> )	26.76
Absorción (Abs, %)	7.23

#### CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL.

En cuanto a este aspecto, el territorio objeto de estudio se divide en dos sectores, 1.) Fuertemente Modificado y 2.) Modificación Media. El primer sector ocupa todo el extremo noroeste desde Punta de Ganado hasta La Boca, coincidiendo con la unidad geomorfológico de la llanura abrasiva acumulativa costera, con una vinculación directa con el recurso playa, donde el subsistema naturaleza ha sido transformado y modificado desde hace más de cuatro décadas, debido a la intervención directa del hombre en su afán de localizar sitios de esparcimiento. En el caso que se caracteriza la acción antrópica en el sector delimitado ha sido intensa, sin tener en cuenta los efectos negativos que pueden acarrear, sobre todo porque las barras arenosas litorales presenta una limitación espacial restringida en cuanto a su ancho, esto es apreciable a través de la intensiva actividad constructiva en estos sitios, la transformación del paisaje, la introducción de especies vegetales no compatibles con el medio. En el caso del Sector N<sup>o</sup> 2, ha sido menos afectado y mantiene cierto grado de conservación, se localiza hacia el extremo sureste desde Punta de Ganado hasta la Bahía de Nuevas Grandes.

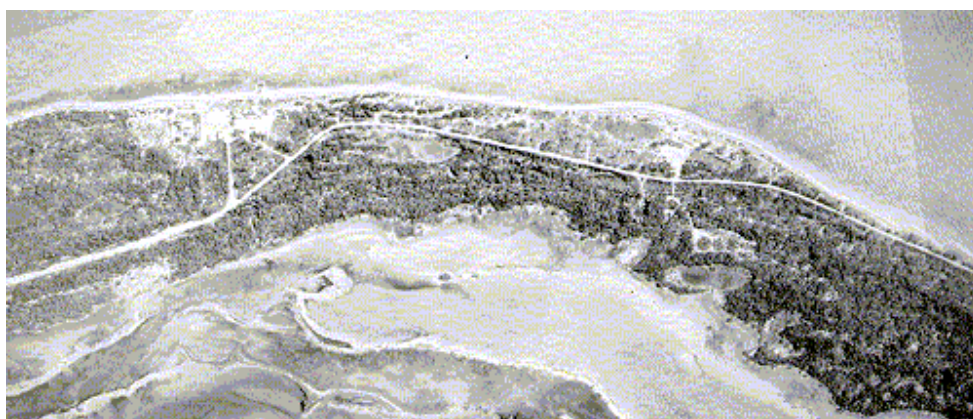


Fig.1. Cambios en el ambiente geológico-ambiental del territorio en año 1989.



## Medio ambiente abiótico.

### Clima.

El clima de la región se clasifica como medianamente seco, donde el régimen de precipitaciones está bien definido, donde se observa un período seco (Noviembre-Abril) con valores promedios de 300 y 400 mm y un período lluvioso (Mayo-Octubre) con valores entre 600-800 mm; la media anual oscila entre 800 y 1000 mm. La temperatura anual presenta un máximo en Julio y Agosto de 31<sup>o</sup> C, que son los meses más calurosos del año. No obstante, en el resto del período Abril-Noviembre las temperaturas se mantienen agradablemente cálidas. En los restantes meses desde Diciembre hasta Marzo se reportan los valores más bajos con un mínimo en Enero de 19.0 °C. Con respecto a la humedad relativa se puede afirmar que los valores más altos ocurren a las 07 horas con una media anual del 84% y máximo absoluto de 86% en Febrero y Diciembre para este horario. Los más bajos ocurren a las 13 horas con medias anuales de 74% y un mínimo absoluto de 71% en el mes de Agosto. Los vientos predominantes son del este al nordeste con velocidad promedio de 19 km/h. El área está sometida al régimen de vientos alisios que impone el anticiclón del Atlántico Norte en la mayor parte del año, principalmente en los meses de verano.

Tabla N<sup>o</sup> III. Valores promedios de lluvias caídas (mm)

Series	Meses												Total Anu.
	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
Salina													
Últimos 14 años	48.5	34.84	79.8	29.32	71.89	91.26	31.52	63.04	102.8	171.7	178.7	60.1	96.36
Prom. Hist.	42.0	21.0	30.0	64.0	122.0	119.0	48.0	67.0	106.0	162.0	101.0	41.0	92.36
Nuevita													
Prom. Hist.	30.0	26.0	37.0	69.0	194.0	217.0	133.0	155.0	180.0	181.0	77.0	27.0	1326
Camg.													

## Medio ambiente biótico.

### Flora.

En el área existen diferentes formaciones vegetales que deben sus características actuales a la conjugación tanto de los factores naturales como antrópicos. De manera general, se trata de una vegetación mayormente xerófila, de regeneración lenta, constituida por comunidades vegetales adaptadas a las condiciones climáticas, halinas y edáficas imperantes en las que las peculiaridades del régimen de precipitación, la disponibilidad de agua, la pedogénesis y la acción de los vientos, actúan como factores determinantes.

Por otra parte la acción antropogénica sobre la vegetación y en especial sobre las comunidades boscosas, como la tala selectiva y el desmonte, ha conducido a cambios en la estructura, composición, diversidad y riqueza de estas comunidades. No obstante aún subsisten áreas de bosques que mantienen un estado seminatural en cuanto a composición y diversidad de la flora.

Tipos de vegetación:

- Bosque siempre verde micrófilo.
- Bosque de Ciénaga.
- Bosque de mangle: (Mangle mixto, Manglar de *Conocarpus erecta* (Yanal)
- Matorral xeromorfo costero y subcostero (manigua costera).

Vegetación holófila con elementos de manglar por partes.

- Vegetación acuática.

Complejo de vegetación de costa arenosa.



- Matorrales y comunidades herbáceas ruderales.

#### **Fauna.**

La avifauna constituye sin dudas uno de los principales atractivos, destacándose la numerosa población de flamencos, especie que se halla entre las amenazadas o en peligro de extinción a nivel mundial. Otras especies importantes desde el punto de vista del endemismo son el tocororo, nuestra ave nacional, la pedorrera o carta cuba, el toti, el zunzún, el arriero, etc.

Otros grupos importantes son los reptiles y arácnidos. También existe el grupo de los insectos, los miriápodos y los isópodos terrestres entre otros.

Entre los mamíferos se destaca la presencia de la jutía conga, especie endémica, con grandes posibilidades de utilización económica.

Los moluscos aparecen ampliamente representados, destacándose la presencia de Polymita muscarum splendida y Lyguus fasciatus achatinus, dos taxones endémicos de gran importancia.

Con relación a la fauna introducida, puede distinguirse un primer grupo de especies que se mantienen controladas y dependientes del hombre y por consiguiente, el impacto que originan en el medio natural no resulta de gran magnitud (por ejemplo equinos, ovinos y caprinos), mientras que un segundo grupo lo constituyen aquellas especies introducidas convertidas en moneraces, cimarronas o jíbaras (ejemplo: bovinos, felinos, caninos, mangosta, roedores, cerdos) y cuyo efecto sobre la fauna silvestre y sobre el medio natural en general puede catalogarse de nocivos e incontrolados.

#### **Medio ambiente socio-económico.**

##### **Aspectos demográficos.**

La población de Santa Lucía es aproximadamente 2000 habitantes, de los cuales prácticamente el 50 % de los mismos corresponden a cada sexo, predominando las edades entre 10 y 40 años. La población económicamente activa es elevada de los cuales existen alrededor de 1000 empleados en el sector turístico y 98 en el sector salinero, que son las principales fuentes de empleo en la zona. También existen diferentes contingentes con frecuentes fluctuaciones de su personal que se encargan de la ejecución de las obras que allí se ejecutan.

##### **Aspectos Económicos.**

La economía de la zona descansa fundamentalmente en la producción de sal y el turismo. La producción salinera tiene una capacidad de producción de 33 000 toneladas anuales de sal para diferentes usos.

##### **Infraestructura y Servicios Existentes.**

El abastecimiento de agua a Sta Lucía se efectúa a través de un acueducto con longitud aproximadamente de unos 40 km mediante diferentes estaciones de bombeo desde la presa La Atalaya ubicada ubicada al Norte del poblado de San Miguel del Bagá.

La recolección de residuos sólidos se realiza mediante camiones y carretas pertenecientes a comunales. No obstante, se han podido detectar la existencia de algunos basureros ilegales, creados por diferentes entidades.

El sistema educacional sólo alcanza el nivel primario, el resto de los niveles se realiza en otras dependencias del Ministerio de Educación.

El sistema de salud cuenta con una Clínica Internacional perteneciente a SERVIMED para atención al Turismo, existe un puesto médico para atención de primeros auxilios así como un médico de la familia para la medicina preventiva fundamentalmente.

La fuente de energía fundamental es la eléctrica, la cual es abastecida desde la termoeléctrica de Nuevitas a través del sistema nacional de energía.

Existe un garage de combustible perteneciente a CUPET-CIMEX, que es el principal proveedor de gasolina, Diesel y lubricantes del área. Existe también una base de transporte del sector turístico donde se efectúan estos servicios, al igual que en otro de la salina.

El área cuenta con el polo turístico de Santa Lucía que se encuentra en desarrollo con capacidad de 1126 habitaciones (1997). Existen otras instalaciones de diferentes organismos



que se utilizan para el turismo nacional. Para el arribo a la zona se cuenta con una carretera de segundo orden de aproximadamente 120 km desde la ciudad de Camagüey y dentro del área estas vías se están reacondicionando.

### **Ambiente Estético.**

#### ***Descripción de las características de los paisajes.***

El paisaje es un elemento integrador de todos los factores naturales presentes en el área, donde interactúan elementos de variadas edades y génesis, surgidos en diferentes épocas y que han perdurado hasta nuestros días.

En el caso de los paisajes emergidos se clasificaron diferentes unidades paisajísticas a partir del análisis de la geología, formas de relieve, tipos de sedimentos, suelos, cobertura vegetal, carsificación, así como la transformación del entorno a partir de los procesos de urbanización y antropización imperantes en el territorio entre otros.

Se destaca en tierra firme la unidad paisajística de la llanura litoral acumulativa-abrasiva baja con altura menor de 3 m sobre calcarenitas, biocalcarenitas y areniscas poco consolidadas, en las que se agrupan como unidades de orden inferior las playas arenosas y dunas litorales, las terrazas litorales acantiladas, las barras y sistemas de dunas aplanadas, así como las lagunas litorales y sus superficies adyacentes.

La llanura litoral acumulativo-abrasiva baja se extiende de Este a Oeste por toda la costa Norte con un ancho variable entre 20 y 250 m, destacándose en ella las playas y dunas. Las dunas generalmente alcanzan una altura de 3 m y un ancho variable de 20 a 60 m con presencia de vegetación rastrera, suculentas, uva caleta, guao de costa y en algunos sectores plantaciones, fundamentalmente de casuarinas.

Las terrazas calcáreo abrasivas interrumpen los sectores de playa y generalmente alcanzan altura de 1 a 1.50 m

Las lagunas litorales se caracterizan por ser poco profundas con áreas temporalmente inundables. Estas lagunas poseen fondo fangoso y se diferencian entre sí por su profundidad, aunque en general no sobrepasan los 2 m. Al Sur-Oeste del sector Santa Lucía aparece una llanura lacuno-palustre plana muy baja menor de 1 m permanentemente o temporalmente inundada, con suelos cenagosos, con manglares y vegetación halófila.

El complejo territorial de la llanura baja plana de 1 a 3 m carsificada sobre calcarenita y biocalcarenita con rendzina pardo humificada con bosque siempre verde micrófilo, yanales a jucarales, ocupa una gran extensión al Sur del área y se destaca en esta localidad la superficie plana menor de 1 m, carsificada con dolinas ocasionalmente inundadas y suelo de rendzinas pardo humificada cubiertas por canales y jucarales que se distribuye de forma continua constituyendo una zona de transición entre las lagunas y la superficie carsificada.

#### **Zonación funcional de los recursos turísticos.**

El alcance de la zonificación turística consiste en brindar las opciones de utilización de este territorio en función del turismo, proponiendo diferentes categorías de manejo encaminadas a modificar, ampliar o delimitar usos y formas de explotación bajo una estructura territorial que permita el óptimo aprovechamiento de los recursos y al mismo tiempo establezca las condiciones para la preservación y el mejoramiento del estado actual de los mismos.

Las valoraciones generales de tipo socio-económico e histórico cultural han jugado también un papel importante en esta propuesta.

Las diferentes categorías de manejo del territorio se basan en el principio del tipo y la intensidad de utilización de los diferentes complejos territoriales naturales, así la zona de uso intensivo, se relacionan con la zona costera norte incluyendo las playas y los paisajes submarinos de la plataforma próximos a la línea de costa. En general, la zona de uso intensivo se corresponde con los territorios de mayores valores turísticos recreativos y con los paisajes de mayor valor estético, que permiten intensificar la actividad turística en función de sus posibilidades recreativas, aunque se trata de mantener un ambiente lo más natural posible, se acepta la presencia e influencia de concentraciones de visitantes y facilidades.



### **Valores Culturales.**

Los valores culturales se concentran al noroeste del área en el canal de la entrada a la bahía de Nuevitas donde es posible encontrar restos de naufragios de embarcaciones del periodo colonial y es considerado un sitio de arqueología submarina.

### **Identificación de impactos.**

Los criterios para el análisis y evaluación de la modificación ecológica se obtuvieron mediante el inventario y la caracterización de los diferentes componentes naturales del territorio, las principales acciones impactantes han sido la construcción de instalaciones turístico recreativas sobre las dunas sin los requerimientos estético ingenieril, lo que ha ocasionado un considerable deterioro de los valores naturales y preceptuales del paisaje, otra de las acciones ha sido la introducción de especies vegetales no acorde con el entorno, esto ha provocado:

- a) Disminución del potencial forestal producto a la tala selectiva de los bosques y ausencia de tratamiento silvícola.
- b) Degradación de la costa arenosa por el desbroce, sustitución de la vegetación litoral y construcción de caminos sobre dunas litorales.
- c) Empobrecimiento de las condiciones higiénico-sanitarias y a la degradación de estética del territorio, por la ubicación de los vertederos en áreas naturales y seminaturales.
- d) Contaminación de áreas costeras y playas por derrames de hidrocarburos debido a la limpieza de tanques petroleros en aguas cercanas a la costa.
- e) Contaminación por arena de los fangos medicinales de la laguna del lavado de sal.
- f) Concentración de chatarras y escombros en algunos sectores de la salina.
- g) Extracción de arenas al sur de la salina para la construcción.
- h) Derrame de combustibles y lubricantes en los depósitos destinados al almacenaje de estos.

### **Medidas de mitigación.**

Impedir la degradación de los recursos naturales es el objeto central para promover una integración armónica con la naturaleza.

1. Prohibir todo tipo de vertimiento de residuales en todo el acuatorio marino.
2. Prohibir totalmente la extracción de sedimentos y material arenoso.
3. Para la eliminación de la Thalassia en el área de baño se deben aplicar métodos adecuados con vistas a no alterar el equilibrio ecológico.
4. Prohibir la pesca o captura de ejemplares de la fauna silvestre.
5. Prohibir la circulación de vehículos sobre las dunas litorales, salvo aquellos que se utilicen para el mantenimiento y limpieza de la misma, previo estudio de su necesidad.
6. Prohibir el vertimiento directo e indirecto de residuales líquidos y sólidos sobre las arenas.
7. Prohibir los rellenos de las áreas inundables.
8. En caso de las lagunas que mantengan buenas condiciones se establecerá una franja de protección, en donde se prohíbe todo tipo de construcción, así como la tala de la vegetación.
9. Prohibir la tala, quema y cualquier acción que dañe o modifique la vegetación existente, así como la extracción y recolección de cualquier especie de valor.
10. Prohibir la introducción de especies que no sean propias de este tipo de ecosistema.

### **Medidas de control y monitoreo.**

1. Caracterizar los efluentes industriales y comparar los valores con las normas. (anual).
2. Chequear el funcionamiento de las trampas de grasa. (Trimestral).
3. Chequear el muro de contención de los depósitos de combustibles. (Permanente).
4. Muestreo químico y bacteriológico de las lagunas y los fangos medicinales. (semestral).

### **CONCLUSIONES**

Consideraciones generales sobre las acciones antrópicas actuales y sus consecuencias sobre el entorno natural.





El territorio estudiado se ubica en la cuenca norte cubana, donde la litología de cobertura pertenece a la formación Jaimanitas (js Q<sub>2-3</sub> S) y depósitos lagunares, la geomorfología es típica de zonas costeras.

Desde el punto de vista geotécnico, existe un complejo rocoso con buenas condiciones para la cimentación directa, favorable para la construcción y un complejo arenoso de favorabilidad media, en el que se deben evitar la actividad constructiva.

Debido a que el territorio de estudio ha sido intervenido desde décadas solo corresponde realizar un inventario de los impactos residuales que tengan la posibilidad de aplicar alguna medida de mitigación atrás, en caso de nuevas inversiones deben ajustarse a la legislación ambiental vigente.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACC-ICGC. 1988. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. La Habana.
- Academia de Ciencias. 1989. Estudio de los grupos insulares y zonas litorales del archipiélago cubano con fines turísticos. (Cayo Sabinal-Sta Lucía).
- Alemán, I. L. Ramos, N. Junco, et al. 2000. Delimitación de zonas de protección sanitarias de la salina "El Real". Santa Lucía. Camagüey.
- Antúnez, H. E. González, R. Meriño. Et al. 1998. Estudio de Impacto Ambiental, Laguna de Estabilización Playa Santa Lucía. Camagüey.
- Alegre, A. 1994. Estudio Ingeniero geológico Las Bocas, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Almeida, J. 1989. Estudio Ingeniero geológico Parcela No.16, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Almeida, J. 1989. Estudio Ingeniero geológico Parcela No.90, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- CITMA. 1997. Estrategia nacional sobre diversidad biológica. CIDEA. La Habana.
- Del Pino, L. 1989. Estudio Ingeniero geológico Parcela 173, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Del Pino, L. 1989. Estudio Ingeniero geológico Parcela No. 78, Santa Lucia, Camagüey.
- Fernández, T. 1996. Estudio Ingeniero geológico Parcela 35, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Fernández, L. 2000. Estudio Ingeniero geológico Gran Hotel Santa Lucía, Camagüey. ENIA.
- Fernández, T. 1990. Estudio Ingeniero geológico Parcela No.112, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Fernández, T. 1990. Estudio Ingeniero geológico Parcela No.110, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Godínes, R. 1995. Estudio Ingeniero geológico Conj Servicios CIMEX, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Ley N° 81. 1997. Del Medio Ambiente. Ciudad de la de la Habana.
- Martínez, L. 1989. Estudio Ingeniero geológico Parcela 84, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Molina, M. 1990. Estudio Ingeniero geológico Parcela 50, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Molina, M. 1989. Estudio Ingeniero geológico Parcela 86, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Molina, M. 1990. Estudio Ingeniero geológico Parcela 46, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Pavón, A. 1990. Estudio Ingeniero geológico Parcela 14, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Reselló, F. 1990. Estudio Ingeniero geológico Parcela 2, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Pavón, A. 1990. Estudio Ingeniero geológico Parcela 30, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Morales, M. R. Lahera. 2002. Estudio Patológico, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Rodríguez, F. D. Rubante 1996. Estudio de la línea base e identificación de impactos ambientales de la salina "El Real". Sta Lucía, Camagüey. Empresa Geominera.
- Rodríguez Elías F. y otros. Informe sobre la evaluación de los fangos medicinales en la salina "El Real" Sta Lucía, Camagüey.
- Roselló, F. 1990. Estudio Ingeniero geológico Parcela 190, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Salgado, M. 1989. Estudio Ingeniero geológico Parcela 106, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.
- Torre, B. 1987. Estudio Ingeniero geológico para el Plan Temático, Santa Lucia, Camagüey. ENIA.



## PROYECTO EJECUTIVO PARA LA RECUPERACIÓN DE LA PLAYA EN EL SECTOR LAS CALAVERAS – PUNTA MOLAS, VARADERO.

**Vladimir Caballero Camejo, José Luis Juanes Martí, Miguel Izquierdo Álvarez, Kenia Hernández Valdés, Miguel Felipe Hernández, Ernesto Tristá Barrera, Leonel Iván Peña Fuentes, Roberto Guerra García, Carlos M. Peón Caso, Hermes Salazar Salazar.**

*Instituto de Oceanología. Ave. 1ra y 186 No 18406 Reparto. Flores, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba. E. Mail : costa@oceano.inf.cu*

### RESUMEN

Como resultado del creciente deterioro de la playa en el sector Las Calaveras – Punta Molas, en el extremo más oriental de la península de Hicacos, y la necesidad de aumentar las capacidades hoteleras en la playa de Varadero, se decidió la elaboración y ejecución de un proyecto cuyo objetivo fundamental, fue devolverle a este tramo costero las condiciones necesarias para su explotación turística, así como proteger las nuevas instalaciones hoteleras de las penetraciones del mar durante la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos. En este documento se exponen las principales causas que provocaron las condiciones de deterioro que presentaba la playa, el funcionamiento de este sistema costero y sus particularidades, así como los resultados de las investigaciones que sirvieron de base para el diseño de las soluciones propuestas. La acción fundamental expuesta fue la alimentación artificial de 460 000 m<sup>3</sup> de arena a lo largo de 4 Km. y para su ejecución se aplican métodos y tecnologías de punta en la Ingeniería de Costas, adaptadas a nuestras condiciones particulares, siendo aplicable en otras playas de características similares, tanto en Cuba como en la región del Caribe. Con este proyecto se logró profundizar en las características de la dinámica litoral de este sector costero, hasta ese momento el menos estudiado de la península de Hicacos y se obtuvo una valoración más objetiva de las reservas de arena presentes en su plataforma submarina. Gracias su ejecución, hoy este sector presenta las condiciones idóneas para un desarrollo hotelero a gran escala.

### ABSTRACT

As a result of the growing deterioration of Las Calaveras – Punta Molas beach sector, in the most eastern end of Hicacos Peninsula, and due to the need of increasing hotel capacities in Varadero beach, it was decided to elaborate and execute a project. Its fundamental objective was to restore to this coastal tract the necessary conditions for its tourist exploitation, as well as to protect the new hotel facilities from sea penetrations during the occurrence of extreme meteorological events. The main causes for the conditions of deterioration that the beach presented, and the operation of this coastal system and its particularities are exposed in this document, as well as the results of the investigations that served as base to design the proposed solutions. The fundamental action exposed was the artificial nourishment of 460 000 m<sup>3</sup> of sand along 4 km. State-of-the-art methods and technologies in Coastal Engineering are applied for its execution, adapted to our particular conditions; being applicable in other beaches of similar characteristics, both in Cuba and in the Caribbean region. Through this project, it was possible to deepen in the characteristics of the coastal dynamics in this coastal sector, the least studied of Hicacos peninsula until that moment, and a more objective assessment of the sand reserves existing in its submarine shelf was obtained. Thanks to the execution of this project, nowadays this sector presents suitable conditions for a large-scale hotel development.

## INTRODUCCIÓN

Como parte del desarrollo turístico que tiene lugar en la playa de Varadero, desde el año 2000 se decidió el desarrollo hotelero del sector de Punta Hicacos con la construcción aproximada de 4880 habitaciones y una marina de 1200 atraques.

El frente costero de la zona hotelera corresponde a la parte Norte de la punta de la Península de Hicacos y se extiende desde la playa Las Calaveras hasta Punta Molas, a lo largo de 4 km.

La orientación de las inversiones hacia un turismo de playa y operaciones náuticas, obedece a las excelentes condiciones naturales que para ambas actividades presenta el área de Punta Hicacos. Sin embargo, al igual que el resto de la playa de Varadero, este sector costero ha sufrido en las últimas décadas de un continuo proceso de erosión.

Las mediciones realizadas por el Instituto de Oceanología desde 1978 hasta 1994 permitieron registrar, en un perfil de playa ubicado en el sector, un ritmo de erosión de 0.72 m/año, (Juanes y col. 1996), lo que representa un retroceso de la línea de costa de 17.28 m en 24 años. Debe señalarse que en otro punto de control ubicado en el área más crítica, el monumento de referencia para las mediciones del perfil de playa se perdió a consecuencia del proceso erosivo, pudiéndose estimar un retroceso de hasta 30 m, en igual período, para un ritmo de erosión de 1.8 m/año.

Atendiendo a las mediciones sobre fotos aéreas históricas realizadas por Rondón y Nadal (2001), en el período comprendido entre 1986 y 1995 se midió un retroceso puntual de 76.9 m, lo que representa un ritmo de erosión de 6.9 m/año, aunque para el sector en toda su extensión, el ritmo reportado fue de 4.9 m/año. Sin embargo, el cálculo para el intervalo de tiempo más largo analizado por Rondón y Nadal (2001), correspondiente al período entre 1972 y 1999, dio como resultado un ritmo de erosión de 1.2 m/año para el sector, coincidiendo exactamente con el estimado por Juanes y col. (1996), para la playa de Varadero en su conjunto.

Los resultados señalados permiten afirmar que en el sector costero de Punta Hicacos, se desarrolla un proceso erosivo generalizado e irreversible con una intensidad variable en períodos de varios años, pero con un ritmo de retroceso de la línea de costa en 27 años de 1.2 m/año.

Este fenómeno se manifiesta con la invasión de las lagunas por material arenoso, la caída de árboles, la formación de escarpes en la duna y el afloramiento de turba frente a la playa. El deterioro físico de este sector costero se vio reforzado con la incidencia de las fuertes marejadas que acompañaron al huracán Michelle en noviembre del 2001.

De acuerdo con las causas de la erosión de la playa de Varadero identificadas por Juanes y col. (1996), la extensión e intensidad de la erosión en el sector de Punta Hicacos, debe explicarse principalmente a partir del impacto que sobre este tipo de litorales provoca la continua elevación del nivel del mar y probablemente también, por el déficit actual en los ingresos naturales de arena al sistema costero.

Teniendo en cuenta que actuar directamente para eliminar las causas de la erosión es por el momento imposible, resulta razonable trabajar en dos direcciones principales:



1. Lograr la correcta ubicación de las nuevas instalaciones, garantizándose la protección de las mismas y evitándose la introducción a la playa de nuevos agentes erosivos.
2. Lograr la recuperación física de la franja costera mediante la aplicación de la Alimentación Artificial de Arena y la estabilización del sector de Punta Molas.

Desde los inicios del programa inversionista en Punta Hicacos, tanto el Plan Director del IPF, como las consultas a instituciones del CITMA, dejaron establecidos los límites de las parcelas hoteleras, aplicándose las regulaciones que en este sentido, establece el Decreto Ley 212 para la Gestión de la Zona Costera, con lo que se ha cumplido rigurosamente en los hoteles ya construidos.

Con respecto a la Alimentación Artificial de Arena, debe señalarse que esta técnica ha sido aplicada con anterioridad en la playa de Varadero, destacándose particularmente el proyecto de 1 087 000 m<sup>3</sup> de arena vertida en el verano de 1998 con el cual fue beneficiada una extensión de 12 km. de playa.

El porcentaje de retención de arena, 4 años después de ejecutado el proyecto, fue del 80%, lo que constituye un resultado altamente satisfactorio si se tiene en cuenta que según la experiencia internacional, el proyecto que alcanza una retención del 75% en el primer año, se evalúa como un proyecto exitoso.

Es por ello que para resolver el problema que presenta el sector de Punta Hicacos se valoró ante todo la posibilidad de ejecutar un proyecto de alimentación artificial de arena con características similares al ejecutado durante el año 1998.

Con la aplicación de esta solución en, se trabaja además por lograr el objetivo de llegar a establecer un programa único de recuperación y mantenimiento de la playa de Varadero en toda su extensión, lo que permitirá un uso más racional de los recursos financieros y técnicos.

A continuación se presentaran los resultados de las investigaciones que sirven de fundamento a las soluciones propuestas, estableciéndose los parámetros técnicos requeridos para la ejecución de un proyecto de esta naturaleza.

Además se incorporan los resultados principales de su ejecución, la cual se realizó en dos etapas de agosto a octubre del 2003 y de enero a marzo del 2004.

## **MATERIALES Y METODOS**

Con el objetivo de lograr una correcta identificación de la problemática de la playa así como de las medidas mas adecuadas para su regeneración, resulta necesaria la realización de un estudio de sus condiciones naturales. Con este objetivo se ejecutaron campañas de investigaciones de 5 días por mes durante un año, en las cuales se evaluaron las características del relieve y de los sedimentos, así como las relaciones dinámicas entre los mismos. Además se llevaron a cabo dos campañas en el mar con un mes de duración cada una, durante las cuales se realizó la evaluación del préstamo de arena y los levantamientos batimétricos de la plataforma submarina en las inmediaciones de la playa.



La caracterización morfológica del litoral se logró partiendo de la nivelación de 14 perfiles topográficos, cuya prolongación hacia el mar permitió describir el relieve submarino próximo a la costa hasta la profundidad de 1.50 m. Para su realización se empleó un teodolito taquímetro THEO-080, con el cual, utilizando también un receptor GPS Garmin 12XL y tomando como base puntos de la Red Geodésica Nacional existentes en la zona de trabajo, se estableció la línea base para el levantamiento a lo largo de la playa. Todos los perfiles topográficos están amarrados a dicha línea, con lo cual se logró su georeferenciación.

Para lograr la caracterización del relieve en el fondo marino de las inmediaciones de la playa, así como en la zona escogida para el préstamo, se realizó un levantamiento batimétrico utilizando un ecosonda digital FURUNO FCV 612, acoplado a una computadora portátil Pentium II y un receptor GPS Garmin 12 XL, posteriormente las profundidades medidas fueron corregidas al Nivel Medio de Bajamares utilizando para ello las Tablas de Mareas de Cuba.

La descripción del fondo dentro de la zona de préstamo se alcanzó mediante la realización de 56 estaciones de buceo, en las cuales se cubría una superficie circular de 20 m de radio, cuyo objetivo era lograr la caracterización visual de la cuenca en cuanto a; el grado de cobertura de organismos marinos, el relieve submarino y las características superficiales del sedimento. En cada estación se realizaron además calas de contacto y se utilizó para ello una perforadora manual de tirabuzón, con una longitud máxima de penetración de 1.65 m, lo que permitió obtener una valoración de la reserva potencial del depósito de arena. Igualmente la caracterización de los espesores de sedimento en la playa se logró mediante la ejecución de 52 calas de contacto desde su parte emergida hasta la profundidad de 2.5 m.

El análisis granulométrico de las muestras de arena se realizó a través de una tamizadora de vibración AS200 de la firma alemana Retsch, con un juego de 7 tamices en un rango entre 4 mm y 0.062 mm. Los datos de los pesos por tamiz fueron procesados mediante el software Phi 1.1 desarrollado en el Instituto de Oceanología. Como resultado de este proceso se obtuvo el diámetro medio (M) de la partícula en mm y en unidades  $\phi$  y la desviación estándar en  $\sigma$  y  $S_o$ , correspondiendo la clasificación granulométrica a la metodología de Wentworth, (1922), propuesta en el Shore Protection Manual (1984). Por su parte la composición y tipología de los sedimentos se obtuvo mediante la identificación y conteo con el uso de un microscopio estereoscópico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización físico-geográfica de la zona de estudio.

El sector de Punta Hicacos ocupa el extremo Este de la Península de Hicacos, la cual está situada en la costa Noroeste de Cuba a 30 km al Este de la ciudad de La Habana. Con una longitud de 22 km, un ancho máximo de 500 m y una proyección general de 70° de acimut, la Península de Hicacos constituye la barrera natural que separa los bajos fondos de la bahía de Cárdenas de las aguas del Estrecho de la Florida.

Avello y col. (1975), describen el litoral de la Península como una superficie baja y débilmente colinosa, con una altura que no sobrepasa los 20 m.

Los sectores de contacto de las colinas con el mar se caracterizan por los acantilados formados al pie de Las Peñas de Bernardino, (sobre el que fue edificada la casa de Dupont), Punta Chapelín y el macizo rocoso del hotel Meliá Varadero.

Para Shanzer y col. (1975), estos acantilados cortan la más baja de las terrazas pleistocénicas formada por calizas coralinas, donde la acción corrosiva del mar, ha tallado los nichos y el micro relieve de diente de perro como manifestación de las formaciones costeras contemporáneas del Holoceno.

A pesar de la existencia de este sector de unos 3 km de longitud, donde alternan acantilados y playas encajadas, la característica principal de la Península de Hicacos resulta la magnífica playa que cubre de manera lineal la mayor parte de su litoral norte.

En el caso del área de Punta Hicacos, la terraza pleistocénica alcanza en ella la mayor extensión y altura de toda la Península, pero su frente escarpado con nichos y diente de perro se encuentra bien separado del mar, de manera que la costa aparece formada por una playa continua y lagunas costeras en toda su extensión.

El sector de 4 km, en el cual se ejecutaría la recuperación de la playa, presenta una orientación de la línea de costa que varía progresivamente de Oeste a Este desde, 90° en su límite con la terraza cársica de Punta Francés frente a la laguna Mangón, hasta 180° en el extremo de la Península.

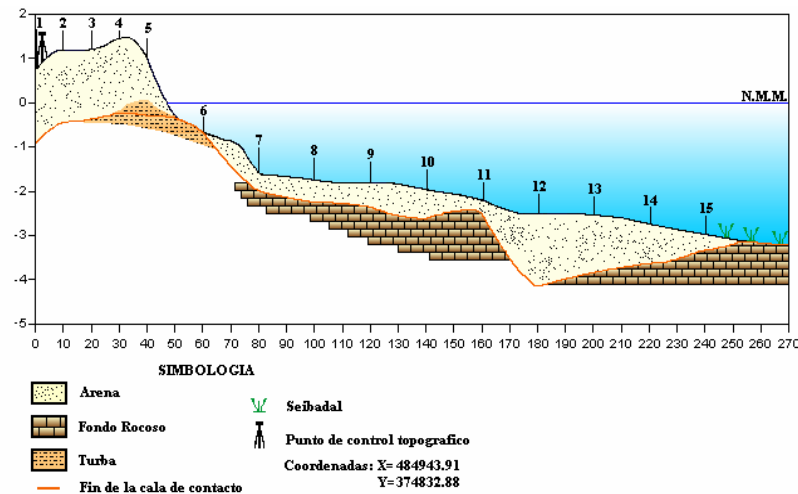
Atendiendo a los cambios en la orientación de la línea de costa, la estructura del perfil de playa y los indicios de erosión, el área del proyecto fue dividida para su estudio en cinco sectores.

El sector 1, con una longitud de 1 010 m y un acimut de 90°, corresponde al frente costero de la laguna Mangón. La deforestación de la vegetación natural de la duna y más recientemente de la casuarina introducida en los años 60, ha facilitado el intenso transporte eólico de arena desde la playa hacia la laguna, el cual se vio significativamente intensificado por las penetraciones del mar asociadas al huracán Michelle en noviembre del 2001.

Sin embargo, en contraste con la acumulación en la laguna, las calas de contacto hechas en dos perfiles correspondientes a este sector, permiten advertir que en la pendiente submarina se produce una reducción del espesor de arena y la aparición de un sustrato de turba que aflora en muchos puntos, poniendo en evidencia la ocurrencia de un intenso lavado en el frente de playa. La presencia de numerosos bloques de turba en la parte emergida del perfil después del paso del huracán Michelle, sirvió para reafirmar esta idea. En las figuras 1 se muestran el esquema de uno de estos perfiles.

De este modo, el proceso erosivo en este sector, está caracterizado por la continua migración de arena desde la pendiente submarina hacia la laguna y en consecuencia, el desplazamiento del perfil de playa hacia tierra, lo que tiene lugar con pocos cambios en su pendiente y configuración.

Así, aunque la imagen que produce la acumulación eólica causa la impresión visual de una playa bien conservada, en el sector se está produciendo el retroceso continuo de la línea de costa a un ritmo que puede estar en el orden de 1.2 m/año, según lo calculado por Rondón y Nadal (2001).



**Figura 1: Perfil P2. (Sector 1)**

Debe apuntarse que este sector ha sufrido la actividad antrópica, caracterizada por la sustitución de la duna natural por un bosque de casuarinas y la construcción de tres casas de mampostería, así como trincheras de piedra y casa-matas con objetivos militares.

Como resultado del proceso erosivo, sólo quedan en el sector restos de hormigón de las antiguas instalaciones cuya eliminación está concebida como una de las actuaciones del proyecto.

El sector 2, con una longitud de 900 m y una orientación de la línea de costa de 110° corresponde al frente costero del hotel Tryp Península y parcialmente del hotel LTI Varadero<sup>1</sup>.

La parte emergida del perfil de playa en este sector presenta una duna de 2 m de altura con su vegetación natural bien conservada y una postplaya de 10 m de ancho. Aunque las fuertes marejadas del huracán Michelle arrastraron hacia el interior de la vegetación cierto volumen de arena, la penetración del escarpe de erosión activo hasta aproximarse al eje de la duna, constituye la mejor evidencia del continuo retroceso de la línea de costa en este sector (foto 1).

Como se aprecia en el perfil P7 de la figura 2, desde el escarpe en la duna y hasta la distancia de 100 m, la pendiente submarina presenta un fondo arenoso con espesores superiores a 1 m y una barra somera adosada a la orilla. A partir de los 100 m las calas de contacto muestran espesores inferiores a 1 m y comienza a observarse la presencia del seibadal que se hace más denso después de los 2.5 m de profundidad a unos 160 m de la costa.

Mientras que en el sector 1 el proceso de erosión se caracteriza por el lavado de la pendiente submarina con el acarreo de arena hacia la laguna y el afloramiento de la turba, en el sector 2 la erosión se manifiesta con el lavado de arena en el escarpe activo y el traspaso de la arena hacia la barra adosada a la orilla.

<sup>1</sup> Este hotel cambió su nombre por el de Maritim Varadero.





Foto 1. Escarpe en la duna.

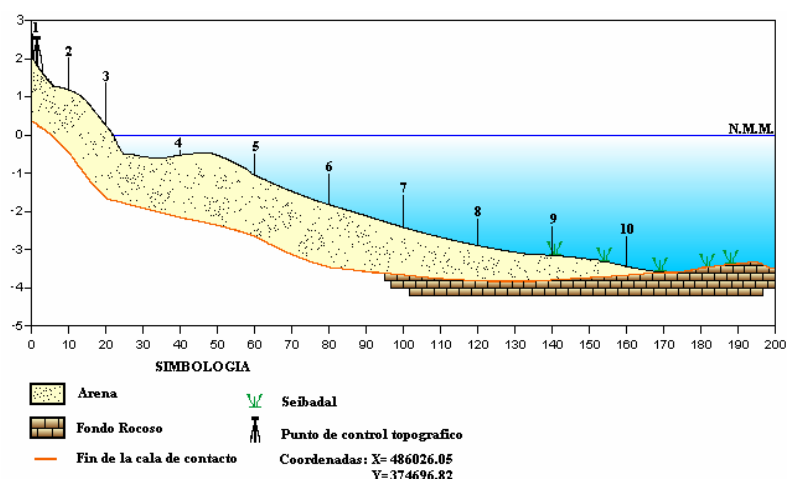
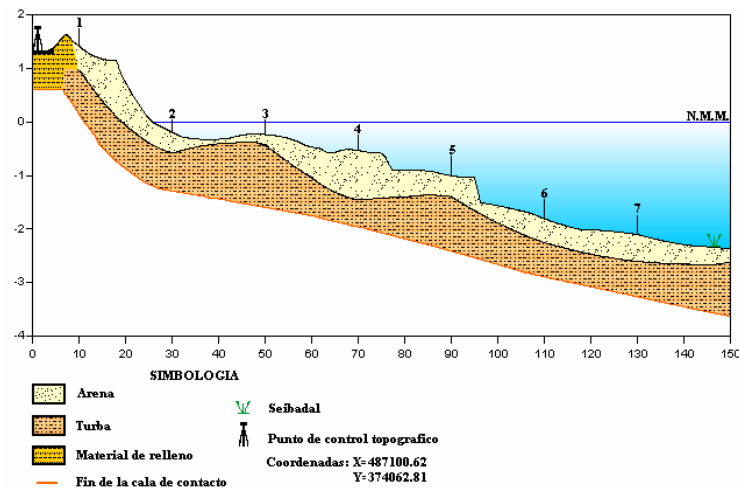


Figura 2. Perfil P 7. (Sector 2)

El sector 3 tiene una longitud de 1 020 m y la línea de costa flexiona algo más al este con  $125^\circ$  de acimut. Tanto en la parte emergida como en la parte submarina, el perfil de playa resulta similar al del sector 2, aunque predomina una duna más baja y pronunciada, con una buena cobertura de vegetación, una postplaya con berma y una somera barra submarina que hacen de este sector el de mejores condiciones para la actividad turística.

Los principales indicios de erosión en este tramo, están dados por el afloramiento de la superficie rocosa en unos 50 m de playa en el límite con el sector 2, los escarpes en la duna y la destrucción de antiguas trincheras de piedras a lo largo de unos 30 m.

Como se aprecia en el perfil P10 de la figura 3, en la parte más al este del sector 3, las perforaciones ponen de manifiesto que los espesores de arena en la pendiente submarina disminuyen a valores entre 0.20 m y 0.85 m, para hacer contacto con turba. Aquí también se observa la penetración de arena hacia la duna que produjo el oleaje asociado al huracán Michelle.



**Figura 3. Perfil P10. (Sector 3)**

La suave pendiente submarina y la aparición de un seibadal bien estabilizado a partir de los 2.5 m de profundidad también es una característica de este sector.

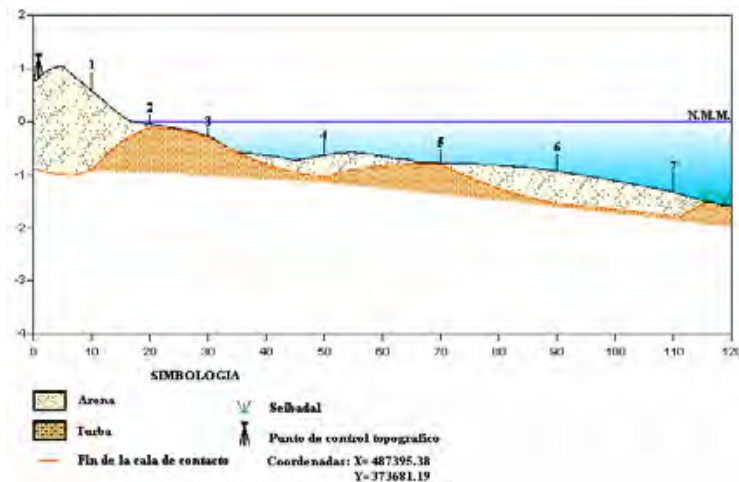
En el sector 4, con una longitud de 670 m, se sigue apreciando la continua declinación de la línea de costa hacia el este, al presentar una orientación de 140°.

En la mayor parte de este sector el proceso erosivo hizo desaparecer casi por completo la franja arenosa de la playa y la línea de costa se encuentra ocupada por una franja de troncos de antigua vegetación costera, en contacto con el mangle de la laguna interior que alcanza aquí su máxima aproximación a la costa, en este tramo es donde las mediciones sobre las fotos aéreas demostraron el máximo ritmo de erosión de Punta Hicacos, con un valor de 6.9 m/año (Rondón y Nadal 2001), (fotos 3).



**Foto 3. Destrucción de la vegetación costera.**

Como se aprecia en el perfil P11 de la figura 4, en la pendiente submarina frente a la playa, los espesores de arena son los menores de los medidos con las calas de contacto y el substrato de turba prácticamente aflora en todos los puntos, poniendo de manifiesto el intenso proceso de lavado de arena que sufre este sector.



**Figura 4. Perfil P11. (Sector 4)**

Las marejadas asociadas al huracán Michelle sirvieron para intensificar este proceso, con el traspaso de un importante volumen de arena hacia la parte interior de la laguna, enterrando parcialmente a la vegetación existente.

El sector 5 corresponde al extremo de la Península de Hicacos y cuenta con una longitud de 400 m y un acimut de 180°.

Las observaciones realizadas por el Instituto de Oceanología desde 1979, (Juanes y col. 1996), permiten caracterizar al sector de Punta Molas como un área de significativos y continuos cambios morfológicos en la playa debido a intensos procesos de transporte de arena.

El perfil actual presenta una duna baja bien conformada cubierta principalmente por una vegetación rastrera y parches de monte costero y casuarinas. En la postplaya se han formado hasta dos líneas de camellones de arena también invadidos por el guisazo y el boniato de playa, indicadores del predominio de un proceso eólico de acumulación de arena en los últimos años.

En la postplaya aparece además, una berma de unos 15-20 m de ancho y en la pendiente submarina una barra adosada a la orilla de arena suelta que dan la impresión de una playa estabilizada.

Sin embargo, tanto las observaciones históricas en el terreno, como la interpretación de las fotos aéreas, (Rondón y Nadal 2001), permiten afirmar que el perfil de playa en este sector se desplaza hacia tierra mediante la migración de arena tanto por transporte eólico como por el arrastre de fuertes marejadas asociadas a frentes fríos y huracanes.

La duna que se observa hoy en día, está situada sobre la posición que ocupaba un camino por detrás de la misma hace unos 20 años, lo que constituye una clara evidencia del desplazamiento del perfil hacia tierra.

Por la orientación de la línea de costa, los vientos y el oleaje con mayores probabilidades de transportar arena en este sector inciden con rumbos del primer cuadrante, generando

una componente de arrastre en dirección al canal que separa la Península de Cayo Libertad.

La arena que llega al canal es desviada hacia el interior de la bahía de Cárdenas bajo el efecto del oleaje y la corriente de la marea en llenante, dando lugar a la forma de pico curvo del extremo de la Península. Por su parte, la corriente de vaciante, arrastra arena hacia los bancos exteriores y su combinación con las diferentes condiciones de oleaje generan los complejos procesos de transporte de arena responsables de la inestabilidad de este sector.

En cualquier caso las evidencias obtenidas con las fotos aéreas y los trabajos de campo citados, demuestran que existe una tendencia natural al cierre del canal por acumulación de arena, aunque puede estimarse su ocurrencia en un período de tiempo relativamente largo desde el punto de vista práctico. Con el cierre del canal cesaría la influencia de la corriente de marea, eliminándose la fuga de arena hacia el interior de la bahía de Cárdenas y regularizándose el acomodo de la arena de las barras exteriores sobre la costa de la punta y de Cayo Libertad.

Con relación a las variaciones temporales de la morfología del perfil de playa, el análisis desarrollado por Juanes y col. (1996), demuestra que en los sectores 4 y 5, en los meses de enero a junio se produce el predominio de los porcentajes de los perfiles de acumulación y prácticamente no se producen perfiles de erosión. La ocurrencia de algunos porcentajes significativos de perfiles de erosión tiene lugar entre los meses de septiembre y noviembre, lo que había sido reportado de igual forma por Juanes y col. (1985) y Rondón y Nadal, (2001) y constituye una demostración del comportamiento inverso que tienen estos sectores con respecto a la mayor parte de la playa de Varadero.

Los resultados obtenidos de los levantamientos topográficos mensuales sirvieron para demostrar que en los sectores 1, 2 y 3, el comportamiento de los perfiles obedece a un patrón similar al de la mayor parte de Varadero, mientras que se reafirmaba el comportamiento inverso de los sectores 4 y 5.

El análisis demuestra que la incidencia del huracán Michelle estuvo en correspondencia con el esquema establecido en los trabajos anteriores, aunque su paso por la región, significó una intensificación del proceso erosivo, en este caso con el traspaso de arena hacia las lagunas interiores por encima del camellón de la duna, indicando que el transporte de arena perpendicular a la línea de costa, resultó más importante que el transporte longitudinal.

Los resultados indican que con los vientos predominantes del primer cuadrante, la inflexión de la línea de costa en el sector 4 provoca que en esta área se produzca la bifurcación del transporte de sedimentos hacia el sector 3 y el sector 5, lo que justifica que resulte el sector más deteriorado de Punta Hicacos.

Atendiendo a estas particularidades del sector 4, se advierte la necesidad de fortalecer el vertimiento de arena en el mismo, brindándosele atención especial a la conformación de una nueva duna que asegure la protección del área y el abastecimiento de arena tanto hacia el sector 3 como al 5. Estos criterios fueron decisivos en el momento de establecer la estrategia de ejecución de la recuperación de la playa.



Con respecto al tamaño del grano de arena de Punta Hicacos, los muestreos realizados durante las campañas de investigación mostraron que clasifica como arena media con un diámetro medio de 0.29 mm ( $1.81 \phi$ ) con una clasificación  $S_o$  de 1.68 y una desviación standard en  $\phi$  de 1.12.

Por su parte el análisis de la composición de la arena demostró que estos son predominantemente biogénicos con una mayor abundancia de restos de algas calcáreas con un 42.52 %, seguidas por restos de moluscos con un 25.09 % y foraminíferos con un 12.17 %.

En general, tanto la granulometría como la composición de la arena en Punta Hicacos, presentan pocas diferencias en su distribución espacial aún después de la ocurrencia de un evento erosivo como el huracán Michelle, lo que permite asumir que el área de vertimiento presenta un patrón sedimentológico único.

Desde el punto de vista práctico este resultado asegura que la ejecución del vertimiento de arena puede realizarse sin necesidad de hacer diferenciaciones espaciales a consecuencia de la composición del sedimento.

### **Localización y caracterización de la zona de préstamo**

La disponibilidad de una zona de préstamo cercana con arena de calidad y en cantidades apropiadas para la llevar a cabo la regeneración, es un elemento de vital importancia en este tipo de proyectos. Para lograr este objetivo fue necesaria una minuciosa búsqueda de esta fuente de sedimentos en la plataforma submarina de las inmediaciones de la zona de estudio.

El ancho de la plataforma submarina frente a la Península de Hicacos, varía desde 1-1.5 km en la parte oeste, (Canal de Paso Malo-Kawama), hasta algo más de 5 km en la zona de Punta Hicacos, donde el límite exterior de la plataforma queda marcado por Cayo Monito, Cayo Piedra y Cayo Mono. Hacia el sur, el sudeste y el este, el límite queda establecido por una cadena de cayos y bajos fondos que incluyen los cayos Libertad, Diana, Buba, Romero, Blanco y un grupo de estructuras arrecifales en dirección a cayo Bahía de Cádiz.

El área de la plataforma comprendida dentro de estos límites es de aproximadamente unos 70 km<sup>2</sup>, predominando las profundidades inferiores a los 10 m.

Investigaciones geológicas y sedimentológicas desarrolladas en la región por Avello y col. (1973 y 1975), Medvediev y Juanes (1981), Medvediev (1982), Foyo (1982), Juanes y col. (1996), sirvieron para obtener una amplia caracterización de la estructura geológica de la zona, poniendo en evidencia, a través del perfilaje sismo-acústico, la existencia de importantes depósitos de arena marina.

Un trabajo más completo fue realizado por el Instituto Cubano de Hidrografía, con la culminación del Proyecto Arenas III, el cual brinda la representación cartográfica, escala 1:5000, de los tipos de fondo y los espesores de arena de la zona.

En todos los trabajos citados se advierte que la plataforma al norte de Punta Hicacos resulta una extensa superficie relativamente plana con suave pendiente, donde predominan las profundidades inferiores a 8 m con estructuras arrecifales aisladas y

fondos caracterizados por extensos seibadales bien estabilizados y fondos móviles arenosos y fango-arenoso, correspondientes a depósitos formados en depresiones del substrato rocoso.

Las extensas áreas cubiertas de seibadal presentan altas concentraciones de organismos bentónicos productores de arena, constituyendo parte importante de la fuente natural de la arena biogénica que caracteriza a las playas de la Península de Hicacos.

Sin embargo, el efecto que los cayos y la poca profundidad ejercen sobre el oleaje, los cambios en el tipo de fondo y la influencia de las corrientes de marea, hacen complejo el esquema de transporte de arena en la zona, siendo difícil definir en que medida se produce el intercambio entre las áreas de producción, los depósitos de la plataforma y la playa.

Entendiéndose, que en cualquier caso, los depósitos de la plataforma constituyen una reserva de arena para los trabajos de mantenimiento de la playa, en 1997 se realizó la preparación de un proyecto de vertimientos de arena en Varadero, utilizando como área de préstamo la cuenca situada al sur de cayo Mono.

Atendiendo a que los resultados del Proyecto Arenas III, mostraban las potencialidades de otras zonas de préstamo, en el presente proyecto se concibió la exploración de nuevas áreas con vistas a conocer reservas adicionales de arena para los trabajos de recuperación de la playa y evitar el agotamiento de la cuenca de Mono.

Tomando de referencia los mapas de tipo de fondo y de isopacas del proyecto Arenas III, la exploración se extendió a un área de unos 20 km<sup>2</sup> con una red de estaciones de 500 m por 500 m. Luego de un proceso de aproximación mediante redes más estrechas, se llegó a la selección de la zona de préstamo al este de Cayo Piedras del Norte, a una distancia media de la zona de vertimientos de 3 Mn (5.6 Km) y cuenta con una superficie de 0.592 Km<sup>2</sup> (592 000 m<sup>2</sup>).

Como resultado de los levantamientos batimétricos se pudo conocer que la cuenca de arena presenta una superficie plana, con profundidades que oscilan entre los 9 m y 12 m, sin que existan accidentes del relieve que afecten la actividad de dragado, elemento que fue confirmado con las observaciones de buceo.

Según los espesores de sedimentos reportados en el proyecto Arenas III los mismos varían en un rango entre 1 m y 5 m, con un predominio entre 2 m y 4 m, lo cual arroja un volumen total disponible de 1 532 318.02 m<sup>3</sup> y redondeando esta cifra se puede afirmar por esta vía que la cuenca cuenta con un potencial de 1 500 000 m<sup>3</sup> de arena.

Por su parte, las calas de comprobación realizadas durante los trabajos de campo del presente proyecto demostraron la existencia de espesores de arena superiores a 1.65 m en todas las estaciones, con una composición y granulometría homogéneas a lo largo de toda la columna de muestreo. A partir de estos datos se obtiene un volumen de 976 800 m<sup>3</sup> y redondeando esta cifra se puede afirmar que la cuenca tiene un potencial superior a los 980 000 m<sup>3</sup> de arena.

El análisis de la granulometría aplicado a las 56 muestras colectadas en la zona de préstamo permitió conocer que en la cuenca predomina la arena media con un diámetro medio (M) de la muestra tipo de 0.39 mm (1.36  $\phi$ ).



Por su parte el análisis de composición arrojó como resultado que la arena está formada predominantemente por sedimentos de origen biogénico, de color amarillo carmelitoso con tonalidades grisáceas. La muestra promedio arroja que por su abundancia sobresalen las algas con un 40.18%, le siguen los foraminíferos con un 20.13% y un 19.61% de moluscos.

Después de obtener los datos de los análisis sedimentológicos tanto de la playa como de la zona de préstamo y comprobarse la similitud existente entre ambas zonas de muestreo, se puede proponer el área de préstamo evaluada para ser empleada en los trabajos de recuperación del sector Las Calaveras - Punta Molas.

### **Cálculo del volumen de relleno del proyecto.**

En cuanto al volumen de los rellenos la experiencia internacional demuestra que se utilizan diversos criterios para su estimación, aunque existe coincidencia en que la densidad de los vertimientos no debe ser inferior a los 60 m<sup>3</sup> por metro lineal de playa. (Juanes y col., 1996)

Un primer cálculo se realizó atendiendo al ritmo de pérdidas de arena para el sector, tomando como referencia la tendencia erosiva de los perfiles históricos de "Guardafronteras" y "W de Pta. Molas" sobre la base de 11 años de mediciones topográficas, los cuales están ubicados precisamente en el tramo más afectado por la erosión. Como resultado se obtuvo un ritmo de pérdida de arena para el tramo de 1.74 m<sup>3</sup>/m/año.

Aceptando como objetivo del proyecto devolver a la playa la arena perdida en los últimos 30 años y validando el ritmo de pérdida de 1.74 m<sup>3</sup>/m/año para ese período, se obtuvo un volumen de relleno de 212 454 m<sup>3</sup> de arena.

Otra forma de determinar el volumen necesario a verter consiste en el análisis detallado de la forma física de la playa en términos de respuesta del perfil perpendicular a la costa, el cual conduce a la interpretación del transporte de sedimentos fuera del área en que es colocada directamente la arena y permite evaluar los beneficios finales que se obtienen con los trabajos de alimentación artificial.

Usualmente se utiliza el llamado concepto de perfil de equilibrio de playa. Para este proyecto en específico se tomaron las formulaciones propuestas por Bruun (1954) y Dean (1977; 1991), con las cuales, y teniendo en cuenta un retroceso de 36 m de la línea de costa en los últimos 30 años según lo estimado por Rondón y Nadal (2001) y Juanes y col. (1996) se calcula un volumen de arena a verter de 460 000 m<sup>3</sup>. Como se aprecia este valor es mucho mayor al calculado según la tendencia erosiva del sector, por lo que se asume como el volumen del proyecto.

Calculado el volumen a verter, este se dividió por cada uno de los sectores de estudio según sus necesidades y las particularidades. Con este último elemento se contaba con todo lo necesario para la elaboración del proyecto y la conformación de los perfiles de diseño.

Además, en el informe de proyecto se define la estrategia a seguir, dirección del vertido, equipamiento necesario y costos estimados, entre otros elementos que deben quedar claros para su ejecución.

### Resultados de la ejecución del proyecto.

El proyecto fue ejecutado en dos campañas entre el verano del año 2003 y enero – marzo del 2004 con la utilización la draga de succión en marcha Quality Star con 2 500 m<sup>3</sup> de capacidad en su cantara y la draga XXX Aniversario como estación de rebombeo.

Resumiendo los resultados de ambas etapas obtenemos que en total se vertieron en la playa 456 686 m<sup>3</sup> de los 460 000 m<sup>3</sup> proyectados, con una densidad media de 114.17 m<sup>3</sup>/m.

El ancho medio ganado por la playa fue de 38.60 m, ligeramente por encima de los 36 m que se plantean en el proyecto. Los sectores con un mayor incremento son el 2, 3 y 4, con valores que oscilan entre los 42 y 60 metros, mientras que los sectores 1 y 5 tuvieron un incremento entre los 18 y 32 metros. En las fotos 3 a y b, se muestra el cambio experimentado por la playa con la ejecución del proyecto.



a) Antes



b) Después

**Foto 3. Sector 4 antes y después de la regeneración.**

Por otra parte, el área de sol ganada inmediatamente después de ejecutada la alimentación artificial fue de **142 183.18 m<sup>2</sup>**.

Gracias a estos resultados el sector Las Calaveras – Punta Molas cuenta hoy con una playa capaz de soportar la carga turística calculada para el desarrollo hotelero de la zona, la cual sirve además como barrera de contención a las penetraciones del mar que se puedan originar por la incidencia de eventos erosivos extremos.

### Conclusiones

En el sector costero de Las Calaveras – Punta Molas, se ha desarrollado un proceso erosivo generalizado e irreversible con una intensidad variable en períodos de varios años, pero con un ritmo de retroceso de la línea de costa en 27 años de 1.2 m/año.

De acuerdo con las causas de la erosión de la playa de Varadero identificadas por Juanes y col. (1996), la extensión e intensidad de la erosión en el sector de Las Calaveras – Punta Molas, debe explicarse principalmente a partir del impacto que sobre este tipo de litorales provoca la continua elevación del nivel del mar y probablemente también, por el déficit actual en los ingresos naturales de arena al sistema costero.

Las corrientes de marea generadas en el canal formado entre Cayo Libertad y la Península de Hicacos constituyen un elemento desestabilizador del equilibrio de la playa en este sector, razón por la cual se propone en el proyecto ejecutivo su cierre definitivo.

Con relación a las variaciones temporales de la morfología del perfil de playa se demuestra que en la porción más oriental de la península de Hicacos, durante los meses de enero a junio se produce el predominio de los porcentajes de los perfiles de acumulación. Esto constituye una demostración del comportamiento inverso que tiene este sector con respecto a la mayor parte de la playa de Varadero.

Los sedimentos del sector clasifican como arena media y su composición es predominantemente de origen biogénico, fundamentalmente restos de algas calcáreas, moluscos y foraminíferos.

La plataforma submarina al frente del sector de Punta Hicacos presenta grandes reservas de arena de una alta calidad para utilizarse en trabajos de regeneración de playas.

Con este proyecto se demuestra que la alternativa principal para la regeneración de playas naturales es la alimentación artificial de arena por constituir una solución que de manera efectiva, rápida y con un bajo costo ambiental, crea las condiciones estéticas y recreacionales deseadas.

## BIBLIOGRAFIA

- Avello, O y col. (1973). "Sobre las investigaciones geomorfológicas y litodinámicas ejecutadas en la zona litoral y en la plataforma de la región de la Península de Hicacos". Informe inédito. Instituto de Oceanología.
- Avello, O y col. (1975). "Estudio geomorfológico y sedimentológico de la Península de Hicacos, costa N de Cuba". Informe inédito. Instituto de Oceanología.
- Bruun, P. (1954). "Coastal erosion and development of beach profiles". U. S. Army. Beach Erosion Board Technical Memorandum. No. 44. Beach Erosion Board, U. S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.
- Dean, R. G. (1977). "Equilibrium beach profiles: U. S. Atlantic and Gulf Coasts". Department of Civil Engineering. Ocean Engineering Report No. 12. University of Delaware. Newark.
- Dean, R. G. (1991). "Equilibrium beach profiles: characteristics and aplicaciones" Journal of Coastal Research 7 (1). 53-84.
- Foyo, J. (1982). "Distribución de los sedimentos arenosos en la plataforma N de la Península de Hicacos". Reporte de Investigación. Instituto de Oceanología.
- Juanes, J.L y col. (1985). "Dinámica de los sedimentos en la península de Hicacos, Cuba. I- Variaciones morfológicas del perfil de playa". Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio.
- Juanes, J.L y col. (1996). "La erosión de las playas en Cuba. Alternativas para su control". Tesis para el grado de Doctor en Ciencias Geográficas.
- Medvediev, V. S y Juanes, J.L. (1981). "Investigaciones morfolitodinámicas en la zona costera y la plataforma del litoral norte de Cuba". Revista Plataformas Continentales e Insulares, pp. 229-250 [en ruso].
- Medvediev, V.S. (1982). "Particularidades morfo y litodinámicas de los litorales de las zonas tropicales". Revista Problemas de Geomorfología, Litología y Litodinámica, pp.33-46 [en ruso].
- Rondón, H y Nadal, M (2001). "Estudio de riesgos en las parcelas 7 y 8. Península de Hicacos". Geocuba Estudios marinos.
- Shanzer, E y col.(1975). "Sobre las formaciones costeras del Holoceno en Cuba, las terrazas pleistocénicas de la región Habana – Matanzas y los sedimentos vinculados a ellas". Serie Geológica.
- Shore Protection Manual. (1984). 4<sup>th</sup> Ed. 2 Vol. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. U. S. Government Printing Office. Washington, DC.

## **CAMBIOS SEDIMENTARIOS EN LA CUENCA MARINA SUR DE LA PROVINCIA HABANA.**

**Roberto Guerra García, María Elena Chávez Marrero, Kenia Hernández Valdés, Ernesto Tristá Barrera.**

*Instituto de Oceanología. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Ave. 1ra. No. 18406 entre 184 y 186, Rto. Flores. Playa. Ciudad de La Habana. Cuba, Fax: (537) 33-9112, e-mail: [costa@oceanio.inf.cu](mailto:costa@oceanio.inf.cu); [verosus@enet.cu](mailto:verosus@enet.cu)*

### **RESUMEN**

Prácticamente en toda la costa sur de la provincia La Habana se observan manifestaciones de los procesos de erosión, siendo éstos más intensos en los tramos costeros que han sido intensamente ocupados por la urbanización. EL objetivo de esta investigación fue determinar los cambios producidos en la distribución y composición textural, geoquímica y biogénica de los depósitos marinos recientes en la cuenca sur de la provincia Habana, comparando el estado actual de la sedimentación del año 1998 con el de los años 1967 y 1987. La prevaleciente influencia de los procesos marinos de sedimentación frente a la disminución en los ingresos de material terrígeno ha propiciado un efecto erosivo en la franja litoral y una redistribución de los indicadores sedimentarios.

### **ABSTRACT**

Evidences of the erosive processes are observed practically in the whole south coast of the Havana Province, being more intense in the coastal segments that have been intensely used for urbanization. It is the subject of this work to determine the changes that occurred in the distribution and textural, geochemical and biogenic composition of the recent marine deposits in the south shelf of Havana Province, comparing the current state of sedimentation with that of the last periods of investigation. The prevalent influence of marine sedimentation processes before the decrease in the inputs of terrigenous material has propitiated an erosive effect in the coastal strip and a redistribution of the sedimentary indicators.

### **INTRODUCCIÓN**

La región de estudio está ubicada en la costa sur de la provincia Habana, entre la Ensenada de Majana al oeste y la Ensenada de la Broa, al este. (Fig. 1).

Por su proximidad a la capital del país, y la creciente necesidad de desarrollo agrícola y pesquero, en reiteradas ocasiones se han planteado un sin número de proyectos que van desde obras hidráulicas; mejoramiento de las tierras adyacentes a la costa; el cierre de la Ensenada de la Broa mediante un dique y su posterior desalinización; la construcción de un viaducto que enlazara esta costa con el Municipio Especial Isla de la Juventud y más recientemente, la construcción de un dique a lo largo de todo este litoral sur para detener la salinización de los terrenos bajos y su recuperación posterior.

Como es natural, para dar respuestas a muchas interrogantes de estos proyectos fue necesario acometer un numeroso grupo de investigaciones científicas, ya no tan solo oceanográficas sino también geológicas.

Entre los trabajos previos, realizados en la región se tienen el de Daetwyler and Kidwell (1959) que permitieron obtener los primeros datos sobre la composición granulométrica y mineralógica de los depósitos superficiales y dan algunos criterios sobre el carácter de la sedimentación en el Golfo de Batabanó; Bandy (1964), describen los foraminíferos en los sedimentos superficiales del golfo; Ionin et al., (1977), muestra los rasgos característicos de la estructura de las costas del Golfo de Batabanó, el espesor de los sedimentos actuales, que es relativamente pequeño y aportan pruebas de la sumersión reciente del litoral a partir de los testigos tomados; Zenkovich (1969), plantea el predominio de sedimentación carbonatada y establece criterios sobre su variada génesis; Ionin, Pavlidis y Avello (1977) caracterizaron geomorfológicamente las costas y clasificaron los distintos tipos de fondos de la Ensenada de la Broa.

En 1969 continuaron las investigaciones en el Golfo de Batabanó y de otras regiones de la plataforma cubana, publicándose la obra monográfica más completa: sobre la geología de la Plataforma Cubana (Ionin et al., 1977). Hasta entonces no se conocía nada acerca de la sedimentología de los depósitos aluviales de los ríos de Cuba y su influencia en el proceso sedimentario del golfo; y no es hasta que Guerra, Cabrera y Vega (1988) publicaron un trabajo sobre la composición y distribución de estos últimos en el golfo de Batabanó, cuando se conocieron las consecuencias que tenía el represamiento de los ríos para el proceso sedimentario del golfo. El objetivo del presente trabajo es conocer los cambios producidos en la composición textural, geoquímica y de los biocomponentes de la cuenca sur de la provincia Habana y su significado geo-ambiental.

## MATERIALES Y METODOS

Las operaciones se realizaron a bordo del barco "René Suárez" en Marzo de 1998. El geoposicionamiento de las 18 estaciones de muestreo sedimentario, dichas estaciones se lograron mediante el uso de G.P.S. tipo TRIMBLE (Fig.1).

Los sedimentos se muestrearon con un nucleador de polivinilo diseñado artesanalmente para la toma directa con buceo autónomo. Se hizo además un reconocimiento geólogo - geomorfológico por el litoral. Los sedimentos se analizaron texturalmente empleando una tamizadora Retsch AS 200 digit de producción alemana y un juego de 6 tamices y otros accesorios complementarios para realizar el tamizado húmedo. Las partículas de limos menores de 0.05 mm se separaron en cilindros de cristal con una solución agua y pirofosfato, aplicando el principio de la ley de Stoke Petelin (1967). Con el fin de establecer un análisis comparativo de las características sedimentológicas de la región en el período de investigación desde 1967 hasta 1998, se procesó la base de datos histórica y actual con el método de clasificación de Likht et al. (1983), incluyendo una leyenda con la nomenclatura simplificada. Los porcentajes de carbono orgánico y carbonato en los sedimentos fueron determinados en los laboratorios del IDO de acuerdo con los métodos de Bellinger y Mc Kee (1972) y Sokolov y Sokolova (1980) respectivamente.

El análisis micropaleontológico se realizó tomando seis muestras distribuidas en el perfil (b-b'), analizando bajo la lupa binocular la fracción de 0.25-0.05mm y separando 300 ejemplares de foraminíferos en cada una, los cuales fueron clasificados en aglutinados, hialinos y aporcelanados, según sus características, haciéndose posteriormente el análisis porcentual. Además se realizó el estudio sistemático de la fauna existente. Posteriormente estos resultados fueron comparados con los que se obtuvieron en el perfil (a-a') en el año 1964, dicho perfil es coincidente con el perfil (b-b'), por lo cual no aparece en la (Fig.1);



para representar esta información se realizó un diagrama ternario donde se representan los porcentajes de cada uno de los grupos de foraminíferos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características texturales de los sedimentos

Existen condiciones ambientales muy particulares en este sector del Golfo de Batabanó: 1) Una red fluvial muy pobre, cuyas aguas son reguladas en extremo por el hombre, por lo que no aportan sedimentos a la plataforma, salvo cuando ocurren eventuales fenómenos meteorológicos extremos. 2) Dominio de los factores que influyen en la sedimentación (corriente y fauna bentónica). 3) Presencia de una baja llanura litoral, compuesta por ciénagas, lagunas costeras y una rica población de mangles, fuente importante de materia orgánica. 4) Presencia de un dique longitudinal a la costa sur de la Habana que mantiene anegada muchas zonas de la región afectando paulatinamente su flora. 5) Un prevaleciente intemperismo químico y biológico.

En la tabla I se muestran las características texturales de los sedimentos para dos períodos de investigación (1967 y 1998) y en la figura 2 su distribución textural, en la cual se observan claramente los cambios sedimentarios en un lapso de tiempo de 30 años. Una redistribución y a la vez unificación de las texturas sedimentarias, constituye el panorama actual. Un predominio de los fangos mixtíticos cuya composición textural heterogénea, está representada por partículas algo más gruesas, de origen: orgánico y terrígeno. En correspondencia con las características granulométricas estamos en presencia de una etapa de transición de las condiciones sedimentarias caracterizada por la erosión y redeposición de los substratos antiguos que afloran en el margen litoral que mezclado con gran cantidad de fragmentos de diferentes texturas de origen biogénico, es el responsable del aumento del coeficiente de selección y del diámetro medio de las partículas (Tabla I). Se estima que esta situación está relacionada con la disminución del aporte terrígeno vinculado a las obras hidráulicas realizadas por el hombre, respondiendo también a un proceso natural de emersión de la franja costera.

Tabla I. Análisis textural comparativo de los períodos de investigación.

Est. 1967	Est. 1998	1967			1998		
		Md (mm)	So	Clasificación	Md (mm)	So	Clasificación
166	7	0.007	2.96	fango arcilloso	0.04	4.72	fango mixtítico
167	8	0.008	2.60	fango arcilloso	0.03	5.08	fango mixtítico
155	9	0.013	2.82	fango mixtítico	0.04	4.61	fango mixtítico
145	11	0.016	1.83	fango aleurítico	0.12	3.06	fango mixtítico
173	12	0.034	4.03	fango aleurítico	0.05	4.31	fango mixtítico
175	15	0.005	2.06	fango arcilloso	0.08	3.68	fango mixtítico
174	18	0.04	5.35	fango mixtítico	0.09	3.55	fango mixtítico
166	22	0.007	2.96	fango arcilloso	0.05	4.20	fango mixtítico
160	7	0.006	2.78	fango mixtítico	0.04	4.74	fango mixtítico
150	10	0.056	1.90	arena fangosa	0.05	4.23	fango mixtítico
149	13	0.13	2.32	arena fina	0.06	4.07	fango mixtítico

El proceso erosivo que aquí se menciona ya había sido observado en pasadas investigaciones por especialistas rusos del Instituto de Oceanología de Moscú, cuando testimoniaban la amplia propagación de escarpes y derrumbes de palmas costeras en un suelo de poca firmeza, donde con oleaje de poca energía bastaba para movilizar este



sedimento. El desequilibrio creado por la actividad antropogénica con el represamiento de los ríos y la construcción de diques litorales han venido a intensificar los efectos erosivos.

### Carbono orgánico y carbonatos

Las tablas II y III y las figuras 3 y 4 muestran claramente los cambios producidos en el contenido de carbonato y carbono orgánico de todas las estaciones estudiadas. Según los resultados tanto en la zona litoral, como en la zona interior de la plataforma, los contenidos de carbonatos han crecido mientras que los de carbono orgánico han disminuido. Estas variaciones en la distribución de los contenidos de ambos elementos están asociados al desequilibrio sedimentario entre las fuentes de suministro de sedimentos, con lo cual se ha intensificado un proceso de erosión de materiales finos recientes y la redeposición y lavado de sedimentos antiguos del litoral y pendiente submarina. De interés particular es el efecto producido por las corrientes marinas en la pendiente sublitoral, en las inmediaciones de una franja costera antropogenizada con la construcción de un dique, donde a diferencia de los resultados del año 1987, los contenidos de carbonato aumentaron con valores superiores a 80 %.

Por otra parte en éste mismo lapso de tiempo desaparecen los contenidos superiores al 5 % de Corg. en áreas aledañas al Río Hataguanico y a la cayería de Las Cayamas y se produce una disminución por debajo de 1 % y 0,5 % en tres pequeños sectores al sur de Mayabeque Tasajera (Fig. 4)

Tabla II. Análisis comparativo de los contenidos de  $\text{CO}_3$  y Corg. en los sedimentos de la costa sur de la Provincia de la Habana para los períodos 1987-1998.

Est. 1987	Est. 1998	$\text{CaCO}_3(\%)$		Corg.(%)	
		1987	1998	1987	1998
8	10	37.16	78.71	1.72	1.59
6	13	39.88	81.72	1.32	0.37
E-9	19	36.64	75.76	4.48	2.72
E-20	28	32.48	63.65	5.98	4.81
8	10	37.16	78.71	1.72	1.59
6	13	39.88	81.72	1.32	0.37
E-9	19	36.64	75.76	4.48	2.72
E-20	28	32.48	63.65	5.98	4.81

Tabla III. Distribución del contenido medio de  $\text{CaCO}_3$  y Corg, en los sedimentos de la costa sur de la Provincia Habana.

Unidades físico- geográficas	$\text{CaCO}_3(\%)$		Corg.(%)	
	1987	1998	1997	1998
Litoral	33.33	67.27	4.17	2.166
Plataforma interior	36.54	74.96	3.37	2.37

### Contenido y distribución de foraminíferos

Después de hacer un análisis de los sedimentos superficiales de la cuenca marina estudiada, podemos decir que dichos sedimentos se encuentran representados por restos esqueléticos de moluscos, algas, foraminíferos, briozoos, equinodermos, crustáceos, poríferos y anélidos.

Con los foraminíferos específicamente trabajamos de forma minuciosa, para realizar un análisis más profundo de la tanatocenosis presente y realizar una comparación con la tanatocenosis de un perfil coincidente (a-a') realizado treinta y cuatro (34) años atrás por O. L. Bandy. Es importante aclarar que el análisis hecho con los foraminíferos carece del estudio del organismo vivo, por lo cual no podemos hacer una comparación entre la fauna viva y muerta, que nos hubiese permitido hacer una valoración mas certera y representativa de lo ocurrido en el transcurso del período analizado. Además debemos señalar que en el estudio realizado por Bandy en 1964, tampoco se estudia la fauna viva de foraminíferos.

Fueron clasificados nuestros ejemplares como expresamos en el subtópico de Materiales y Métodos, en Aglutinados, Hialinos y Aporcelanados, pues se conoce que la distribución de los foraminíferos bentónicos en estos tres grupos, está determinada por la disponibilidad de Carbonato de Calcio disuelto en el agua marina (Greiner, 1970) ya que estos organismos construyen sus testas de este material. La disponibilidad de Carbonato de Calcio, depende a su vez de factores ambientales como la salinidad, la temperatura y la profundidad que existan en una localidad en particular. De este modo se puede afirmar, de forma general, que las formas aglutinadas se desarrollan en zonas de baja salinidad y baja temperatura, con poca disponibilidad de carbonato de calcio, las formas aporcelanadas que requieren de alta disponibilidad de carbonato de calcio predominan en áreas de alta salinidad y alta temperatura, mientras que las formas hialinas ocupan áreas de valores intermedios.(De Huelbes et al., 1998).

Siguiendo el razonamiento anterior, calculamos los porcentos en que se encontraban los tres grupos anteriormente citados (tabla IV).

Este análisis nos reveló que en todo el perfil (b-b'), muestreo de 1998, se observa un predominio de formas hialinas con un valor promedio de 56%, alcanzándose un valor máximo de 79% y como valor mínimo 21%. Las formas aporcelanadas se presentan subordinadas a las hialinas apareciendo un valor promedio de 38%, presentándose como valor máximo 64% y valor mínimo 21%, mientras las formas aglutinadas aparecen completamente subordinadas a las dos anteriores, presentando un valor promedio solamente del 6% con un valor máximo de 15% y un mínimo de cero (Fig. 5).

Por otro lado cuando hacemos el análisis de los valores porcentuales del perfil (a-a') 1964, podemos ver como existe un predominio de formas aporcelanadas las cuales presentan un valor promedio de 58%, llegando a presentar valor máximo de 75% y mínimo de 35%. Las formas hialinas en este caso se encuentran subordinadas a las calcáreas con valor promedio de 35%, donde el valor máximo es de 60% y el mínimo 25%. Las formas aglutinadas se encuentran en este caso, subordinadas también a las formas anteriores, llegando a tener un valor promedio de 7%, valor máximo de 17% y valor mínimo de cero. El estudio taxonómico nos dio por resultado que existen 35 especies de foraminíferos bentónicos, siendo las familias más abundantes las ELPHIDIIDAE, ROTALIIDAE y MILIOLIIDAE. No fueron observados foraminíferos planctónicos.

Tabla IV. Comparación de los porcentos de Foraminíferos aglutinados, hialinos yaporcelanados entre los años 1964 y 1998.

Estaciones	Aglutinados	Hialinos	Aporcelanados
B-167(1964)	-	25	75
E-19(1998)	15	21	64
B-169(1964)	17	40	43
E-16(1998)	7	51	41
B-171(1964)	10	27	63
E-13(1998)	12	41	47
B-190(1964)	5	60	35
E-10(1998)	-	73	27
B-191(1964)	-	35	65
E-7(1998)	-	79	21
B-189(1964)	10	25	65
RH (1998)	-	71	29

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los suelos marinos han sufrido una redistribución y homogeneización de su composición granulométrica con tendencias al incremento del diámetro medio de sus partículas en toda la cuenca.

Se elevó el contenido geoquímico de los carbonatos en correspondencia con la abundancia de los bioclastos calcáreos de texturas más gruesas. Por su parte los contenidos de carbono orgánico muestran un descenso, acorde con la disminución de las partículas limo-arcillosas.

Teniendo en cuenta que el estudio realizado con los foraminíferos no fue el más recomendado para el estudio de los cambios ambientales en lapsos de corto tiempo, no podremos dar una conclusión totalmente definitiva, pero sí daremos el siguiente criterio de acuerdo a los resultados de nuestra investigación; se observa un predominio de formas hialinas yaporcelanadas de foraminíferos, en las cuales lasaporcelanadas muestran mayores rasgos de envejecimiento, lo que obedece a procesos de lavado y redeposición de detritos antiguos que comienzan aflorar en la margen litoral.

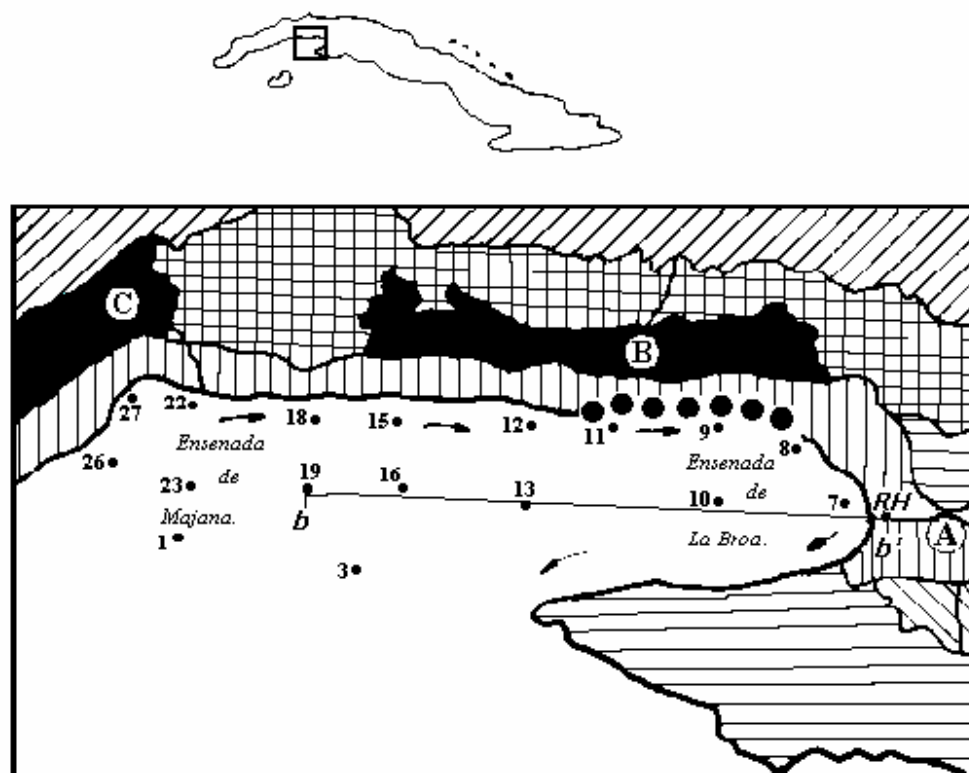
A partir de la conclusión anterior recomendamos que los próximos trabajos que se realicen en la zona, utilizando los foraminíferos como indicadores ambientales se haga comparando la fauna viva y muerta.

Los cambios expuestos hasta aquí responden a un desequilibrio entre las fuentes de ingreso de materiales terrígenos y marinos a la cuenca, prevaleciendo como resultado, los factores talasogenéticos de sedimentación que provocan la erosión de los depósitos actuales y formaciones geológicas subyacentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bandy, O. L., 1964. Foraminiferal biofacies in sediments of Gulf of Batabano, Cuba, and their geologic significance. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists, (USA). V. (48). No.10.  
Bellinger, D. O. y Mc. Kee, G. D., 1972. Chemical chareacterization of botton sediments J. Wat. Poll. Cont. Fed., 43(2): 216-227.

- Daetwyler, C. C. & A. L. Kidwell, 1959. The Gulf of Batabano, a modern carbonate basin. Proc. Fifth World Petrol. Congr. Geol. And Geophys., Sect. L., Paper 1. New York.
- Guerra, R. G., R. N. Cabrera, L. H. Vega, 1988. Composición y distribución de los depósitos sedimentarios en los ríos del extremo suroccidental de Cuba y la Isla de la Juventud.
- Greiner, O. G. Gary, 1970. Distribution of major benthonic foraminiferal groups on the Gulf of México continental shelf. Micropaleontology. (USA) Vol. (16), No.1.
- Huelbes de Alonso J. et al., 1998. Foraminíferos bentónicos recientes de la plataforma insular del Archipiélago Sabana- Camagüey. Una aproximación a los factores ambientales que controlan su distribución. Memorias del III Congreso de Geología y Minería. Tomo I: pp. 315-318.
- Ionin, A. S., Y. A. Pavlidis, O. S. Avello, 1977. Geología de la Plataforma Marina de Cuba. (en ruso). Editorial Nauka, Moscú: 216 p.
- Likht, F. R., A. S. Astakhov, A.I. Botzul, Derkachov, I. D. Markov & I. V. Utkin., 1983. The texture of sediments and facies of the Sea of Japan. Far East Science Center. Vladivostok: 287 p. (in Russian).
- Petelin, V. M., 1967. Análisis granulométrico de los sedimentos marinos. Edit. Nauka, Moscú: 76 p.
- Sokolov, V. S. y E. G. Sokolova, 1980. Método gasométrico sencillo para determinar Ca CO<sub>3</sub>. Edit. Nauka, Moscú : 42-45
- Zenkovich, V. P., 1969 c. Litorales someros del oeste de Cuba y sus sedimentos. Okean., 9:2 (en ruso)





#### LEYENDA

- Zona costera con signos de erosión
- ~ Corriente marina litoral
- Perfil del análisis micropaleontológico
- (A) Río Hatiguanico
- (B) Río Mayabeque
- (C) Río Tasajera

#### DEPOSITOS CUATERNARIOS

##### Holoceno

-  Depósitos de turba.
-  Depósitos carbonatados y terrígenos de pantano

##### Pleistoceno





-  Arena de cuarzo.
-  Arcilla y arena abigarrada.
-  Calizas, calcarenitas, eolianitas.
-  Arcillas y arenas rojas.

Fig1. Ubicación geográfica del área de estudio.

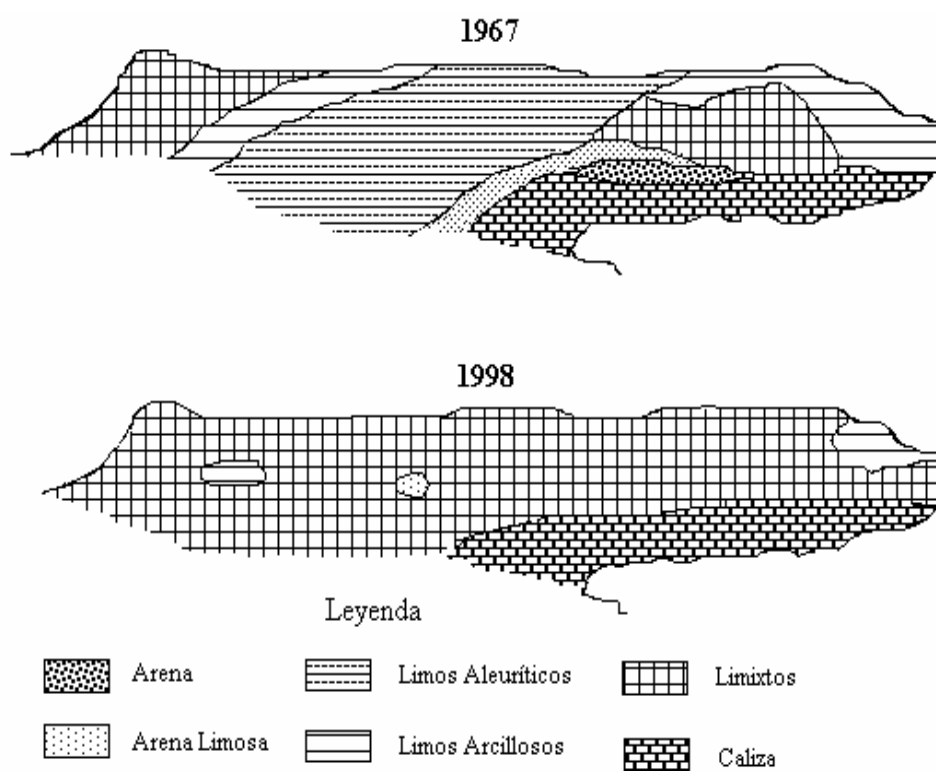


Fig.2. Esquema comparativo de la composición textural de los sedimentos recientes.



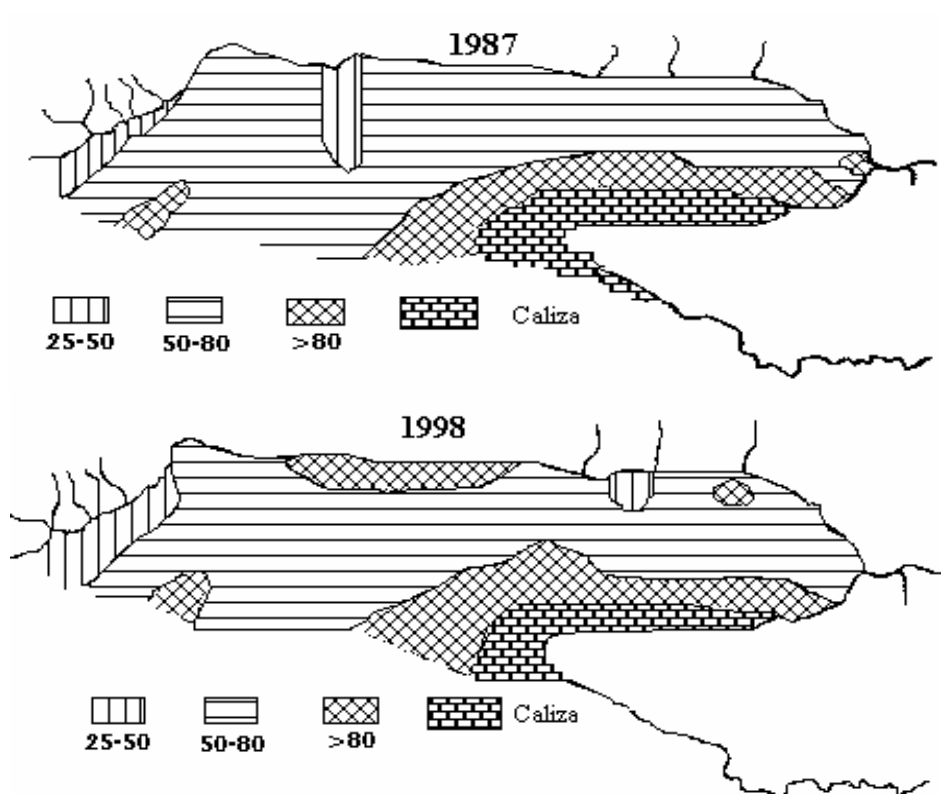


Fig.3. Esquema comparativo del porcentaje de carbonato en la zona.

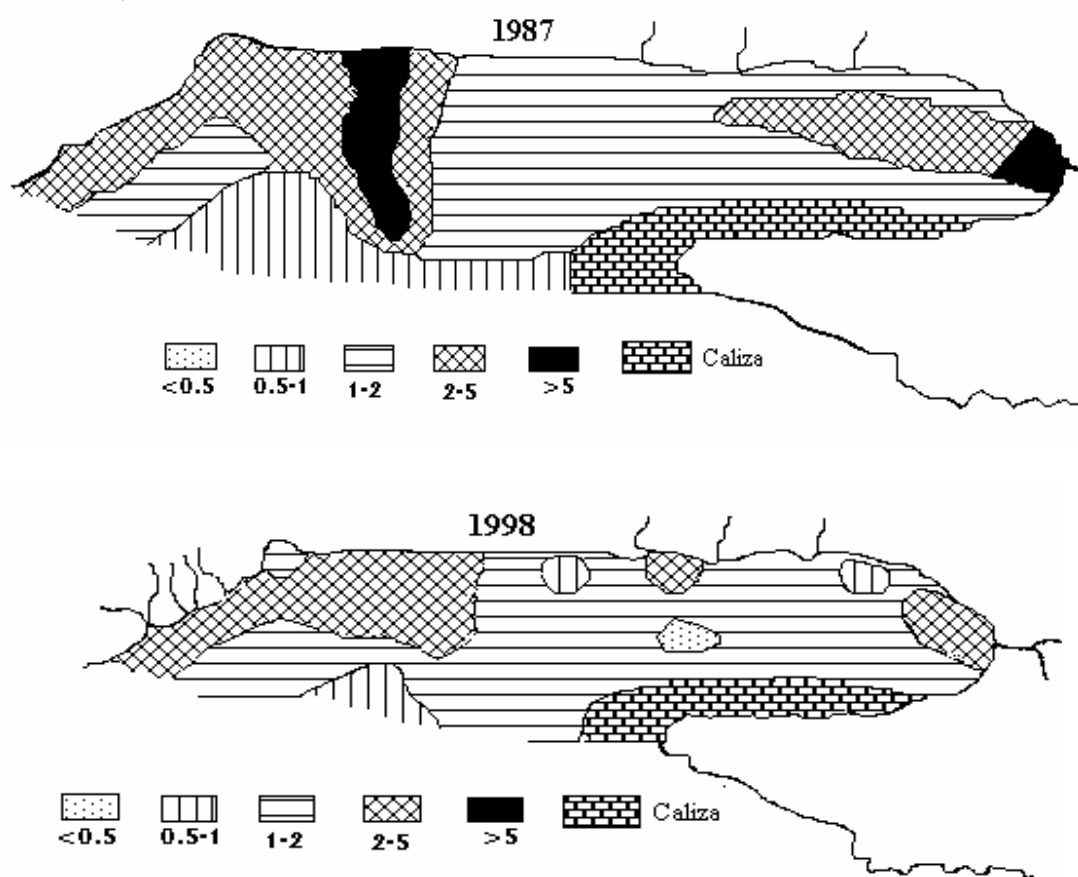


Fig.4. Esquema comparativo del porcentaje de carbono orgánico en la zona.

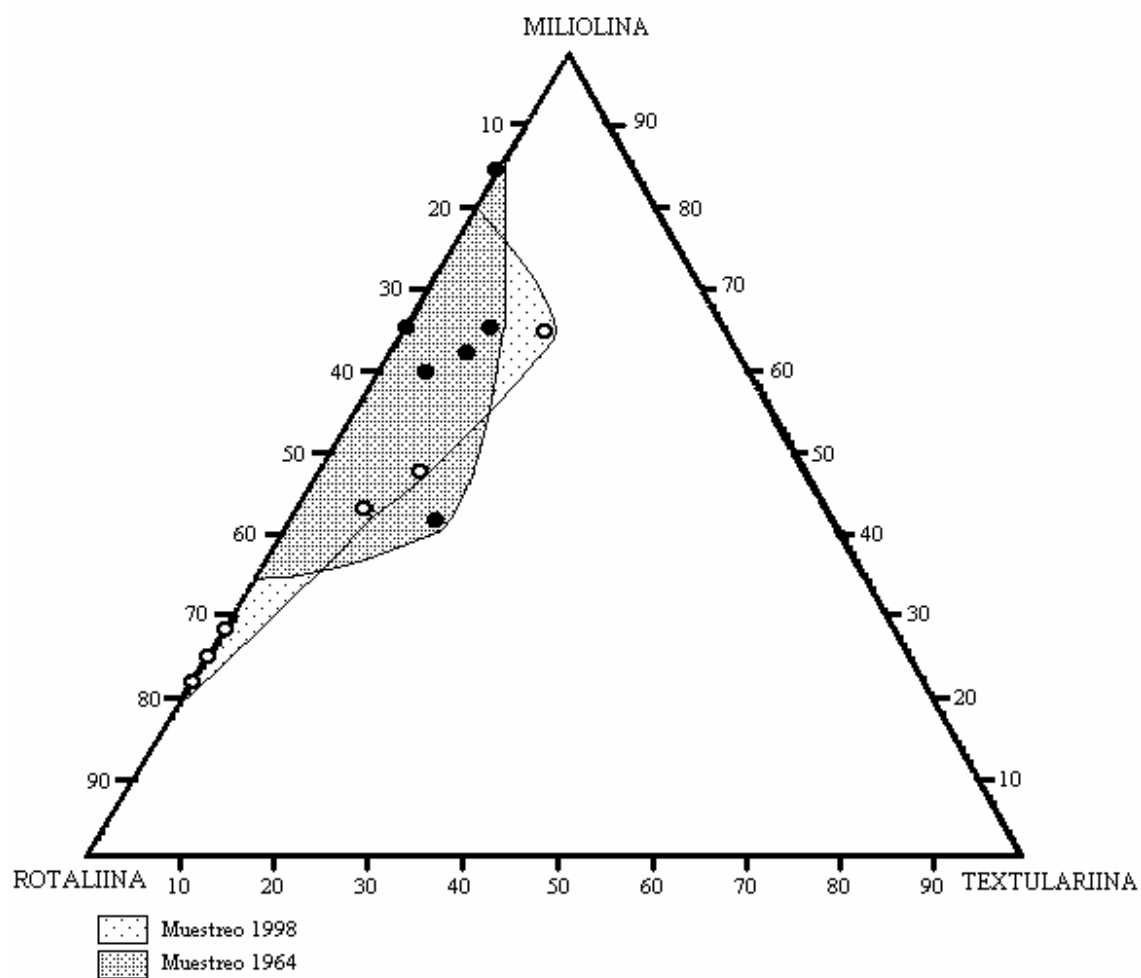


Fig. 5. Distribución comparativa de los porcentajes de foraminíferos Aglutinados, Hialinos y Aporcelanados.



## ESTIMACIÓN DE LA TASA DE INCREMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR A PARTIR DE MEDICIONES DIRECTAS Y EVALUACIÓN DE SU IMPACTO EN EL GOLFO DE BATABANÓ Y EN LA PENÍNSULA DE ZAPATA.

**Marcelino Hernández González<sup>(1)</sup>, Aida Hernández Zanuy<sup>(1)</sup>, Liliam Arriaza Oliveros<sup>(1)</sup>, Jacqueline Simanca Cárdenas<sup>(1)</sup>, Sergio Luis Lorenzo Sánchez<sup>(1)</sup>, Sergio Cerdeira Estrada<sup>(1)</sup>, Libertad Rodas Fernández<sup>(1)</sup>, Georgina Díaz Llanes<sup>(2)</sup>, Idania Hernández Guerrero<sup>(2)</sup>, Ing. Orlando Marzo González<sup>(2)</sup>, Jorge Luis Chang Bravo<sup>(3)</sup>, Antonio Oviedo Balbin<sup>(3)</sup>, Hilda M. Alfonso de Anta<sup>(4)</sup>.**

(1) Instituto de Oceanología, Ave. 1<sup>ra</sup> No. 18406, entre 184 y 186, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: ocean@oceanio.inf.cu.

(2) Empresa Geocuba Geodesia, Loma y 39, Nuevo Vedado, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: geodir@geocuba.cu.

(3) Instituto de Geología y Paleontología, Ampliación de Carretera Central y Vía Blanca, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: chang@igp.minbas.cu.

(4) Instituto de Geografía Tropical, Calle 13 No. 409, Vedado, Plaza, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: hilda@geotehc.cu.

### RESUMEN

En calidad de información primaria se utilizan los datos horarios de estaciones mareográficas, información histórica sobre las características hidrológicas y dinámicas del Golfo de Batabanó y los ecosistemas de la Península de Zapata e información de estudios climatológicos y ecológicos ya concluidos. Se aplican el procesamiento digital de imágenes satelitarias, la modelación numérica, el análisis geodésico, geodinámico y de series de tiempo. Se determina la tasa de incremento del nivel medio del mar, los movimientos verticales de la corteza terrestre y se evalúa la influencia de estos procesos sobre las principales características hidrológicas y dinámicas de las aguas del Golfo de Batabanó, sobre los bosques de mangle y la biodiversidad asociada de la Península de Zapata a largo plazo. La tendencia del nivel medio del mar a largo plazo varía entre 0.005 y 0.196 cm/año lo que aumentará la influencia oceánica en las aguas del Golfo de Batabanó y se reducirá la variabilidad diurna y estacional. Los movimientos verticales de la corteza terrestre en la Península de Zapata varían entre -2 y + 4 mm/año información que contribuye a precisar un escenario de inundación de la Península de Zapata, la cual puede llegar hasta un 60% en el 2100.

### ABSTRACT.

As primary information it was used the tide gauge hourly data, as well as historical information on the hydrological and dynamic characteristics of the Gulf of Batabanó and the ecosystems of Zapata Peninsula, and information from already concluded climatological and ecological studies. The methods employed include digital processing of satellite imagery, numeric modeling; and geodesic, geodynamic and time series analyses. It is determined the mean sea level rise rate and the vertical movements of the Earth's crust. It is evaluated the long-term influence of these processes on the main hydrological and dynamic characteristics of the waters of the Gulf of Batabanó, on the mangrove forests and on the biodiversity associated to Zapata Peninsula. The long-term tendency of mean sea level varies between 0.005 and 0.196 cm/year, increasing the oceanic influence in the waters of the Gulf of Batabanó and decreasing the daily and seasonal variability. The vertical movements of the Earth's crust in Zapata Peninsula vary between -2 and + 4 mm/year; this information contributes to specify a flood scenario for Zapata Peninsula, which can reach 60% by the year 2100.



## INTRODUCCIÓN.

La tendencia del nivel medio del mar a largo plazo a escala global, se caracteriza por poseer ciclos temporales de gran duración, los cuales pueden extenderse desde la escala secular hasta la geológica. Dicha tendencia posee en la actualidad un carácter cuasilíneo hasta las postrimerías del siglo XXI.

Desde el último máximo glacial, hace unos 20 000 años, el nivel medio del mar ha subido más de 120 m. El aumento más rápido en el nivel del mar ocurrió hace unos 15 000 a 60 000 años, con un ritmo medio de unos 10 mm/año. Según datos geológicos, el nivel del mar eustático (o sea, correspondiente a un cambio en el volumen de los océanos) puede haber subido con un ritmo medio de 0.5 mm/año en los últimos 6000 años y con un ritmo medio de 0.1 a 0.2 mm/año en los últimos 3000 años. Este ritmo es de alrededor de un décimo de lo que se produjo durante el siglo XX. En los últimos 3000 a 5000 años, es probable que las oscilaciones en el nivel mundial del mar en escalas temporales de 100 a 1000 años, no hayan excedido de 0.3 a 0.5 m (IPCC 2001a). Según los datos aportados por los mareógrafos, que poseen los registros instrumentales de mayor longitud, el ritmo de aumento del NMM en todo el mundo durante el siglo XX varió entre 1.0 y 2.0 mm/año, con un valor central de 1.5 mm/año (el valor central no debería interpretarse como la mejor estimación), destacándose que el ascenso del nivel medio del mar (NMM) durante el siglo XX ha sido más amplio que durante el siglo XIX IPCC, 2001a).

Según estimados más recientes, del 2001, de las proyecciones de la elevación media del nivel del mar a escala mundial entre 1990 y el 2100 (IPCC 2001a), obtenidos con una serie de MCGAO respecto del escenario IS92A (cm) (teniendo en cuenta el efecto directo de las emisiones de los aerosoles de sulfatos), oscilan entre 0.11 y 0.77 m. Este margen de variación refleja la incertidumbre sistemática que caracteriza la elaboración de modelos.

En todos los escenarios del IE-EE (Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones) se proyecta un aumento del NMM de entre 0.09 y 0.88 m en el período comprendido entre 1990 y el 2100, fundamentalmente a causa de la expansión térmica y la pérdida de masa de los glaciales y los casquetes de hielo. El valor central del intervalo es de 0.48 m, lo que corresponde a una tasa media dos a cuatro veces mayor, aproximadamente, que la tasa registrada en el transcurso del siglo XX. El margen de variación del aumento del nivel del mar indicado en el SIE (Segundo Informe de Evaluación) era de entre 0.13 y 0.94 m basándose en los escenarios IS92. A pesar de que en esta evaluación se proyecta un cambio más pronunciado en las temperaturas, las proyecciones del nivel del mar son algo menores, principalmente debido al uso de modelos mejorados que atribuyen una contribución menor a los glaciales y las capas de hielo. Para el promedio del MCGAO, los escenarios del IE-EE dan resultados que difieren en 0.02 m o menos, con respecto a la primera mitad del siglo XXI. Para el año 2100, la variación en torno al valor central del intervalo es de alrededor del 50%. Después del siglo XXI, el aumento del nivel del mar dependerá en gran medida del escenario de emisiones.

Si las concentraciones de los gases de efecto invernadero se estabilizaran (incluso en sus valores actuales), el nivel del mar seguiría de todos modos aumentando durante cientos de años.

Al cabo de 500 años, la tasa de elevación del nivel medio del mar (en lo adelante NMM) como consecuencia de la expansión térmica podría haber llegado solamente a la mitad de su nivel



definitivo, que según los modelos podría ser de entre 0.5 y 2.0 m, o de entre 1 y 4 m, si los niveles de concentración del CO<sub>2</sub> fueran dos o cuatro veces mayores que los de la era preindustrial, respectivamente. Esta larga escala temporal es resultado de la escasa difusión y la lenta circulación de los procesos que transportan el calor hacia la profundidad de los océanos. A pesar de que los océanos tienen una capacidad de absorción suficiente para captar entre el 70 y el 80% de las emisiones antropógenicas previsibles de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, este proceso tarda siglos debido a la velocidad de mezcla de los océanos. Como consecuencia de ello, incluso varios siglos después de producidas, las emisiones seguirán presentes en la atmósfera.

La tendencia del NMM a largo plazo a escala global responde a los cambios del volumen del agua oceánica y a éste contribuyen diversos factores, con un aporte diferente, en el marco de un clima que tiende a ser más cálido:

Según la citada fuente (IPCC 2001a), los principales factores que contribuyen al aumento del nivel del mar son:

- Una expansión térmica de entre 0.11 y 0.43 m que se acelera a lo largo del siglo XXI;
- Los glaciares, con una contribución de entre 0.01 y 0.23 m;
- Groenlandia, con una contribución de -0.002 a 0.09 m; y
- La Antártida, con una contribución de -0.17 a +0.02 m.
- También contribuyen otros factores como el deshielo de la capa de los hielos perpetuos, el depósito de sedimentos y la constante contribución de las capas de hielo como consecuencia de los cambios climáticos que han venido ocurriendo desde el Último Máximo Glacial.

El margen de variación del NMM a escala regional y local es muy amplio en comparación con su aumento a escala mundial debido a que los movimientos de tierras, de carácter isostático y tectónico, que dan lugar a movimientos verticales de la corteza terrestre pueden ser de diferente signo y velocidad. Por otra parte, los cambios de las corrientes oceánicas influyen sobre la variabilidad intermensual e interanual. Se sabe por ejemplo que en el Mar Caribe y el Golfo de México las corrientes oceánicas se intensifican y se debilitan de acuerdo a un ciclo estacional (Montgomery, 1938); Iselin, 1940; Fuglister, 1951, Patullo *et al.*, 1955; Wunsch *et al.*, 1969; Schmitze y Richardson, 1968; Niiler y Richardson, 1973 y Sujoviev, 1988).

Los cambios a largo plazo del NMM se pueden caracterizar mediante el análisis de series de tiempo de valores medios anuales (Guerman y Levikov, 1988) que deben poseer una longitud de varias décadas.

En Cuba, las mediciones sistemáticas de mayor longitud con que se cuentan se realizan en el puesto mareográfico de Siboney, ubicado en el área que ocupa el Instituto de Oceanología, Ciudad de La Habana (Latitud: 23 05.6 , Longitud: 82 28.2). En el mismo ha sido posible obtener, por más de 37 años, una serie de observaciones de buena calidad. Los valores medios anuales de Siboney, Cabo de San Antonio y Gibara se tributan al Servicio Permanente del Nivel del Mar en el Reino Unido y es objeto de estudio por organizaciones científicas cubanas y extranjeras que acceden a estas bases de datos internacionales.

La tendencia del nivel medio del mar a largo plazo se estima también mediante modelos de emisión de gases de efecto invernadero en los que se tienen en cuenta la expansión térmica de los océanos y la contribución del deshielo de los glaciares, casquetes polares y capas de hielo





debido al aumento de la temperatura global media (IPCC, 2001a). El empleo de estas estimaciones tiene limitaciones a escala local e incluso regional, que vienen dadas por las diferencias del aumento de la temperatura de una zona a otra y por los movimientos verticales de la corteza terrestre de cada lugar.

Un escenario es una descripción coherente, internamente consistente y plausible de un posible estado futuro del mundo. Los escenarios se requieren normalmente en las evaluaciones del impacto del cambio climático, la adaptación y la vulnerabilidad para ofrecer perspectivas alternativas de las condiciones futuras que se consideran posibles fuentes de influencia en un sistema o actividad dados. Se establece la diferencia entre los escenarios climáticos, que describen el factor determinante de interés local para el IPCC, y los escenarios no climáticos, que proporcionan el contexto socio - económico y ambiental en el que opera el factor determinante. La mayoría de las evaluaciones de los impactos de un futuro cambio climático se basan en los resultados de modelos de impactos en los que se utilizan como insumos necesarios climáticos y no climáticos cuantitativos. Los escenarios de incremento del nivel medio del mar son necesarios para evaluar diversas clases de amenazas a los asentamientos humanos, los ecosistemas naturales y el paisaje de las zonas costeras. Los escenarios de nivel del mar (es decir, el aumento del nivel del mar con referencia a los movimientos de la superficie terrestre local) son los de mayor interés para las evaluaciones del impacto y la adaptación (IPCC 2001a).

En 1998 concluyó el proyecto "Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba", dirigido por el Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia, tecnología y Medio Ambiente y auspiciado por el Programa Nacional de Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano y por el PNUMA. Entre los principales resultados del Informe Final de este proyecto se destaca la estimación del incremento del NMM para Cuba a partir de modelos de emisión de gases de efecto invernadero para diferentes períodos de la actual centuria (Gutiérrez *et al.*, 1999).

Tabla I: Elevación del nivel del mar (cm) con respecto al año 1990 (60.84 cm), para la sensibilidad climática media, basado en los escenarios de emisión IS92A y KYOTOA1 en años seleccionados (Gutiérrez *et al.*, 1999).

Año	IS92A (cm)	KYOTOA1 (cm)
2010	4.85	4.71
2030	12.63	11.91
2050	23.30	21.63
2100	55.20	50.28

Este proyecto alcanzó ampliamente los objetivos propuestos y sentó pautas importantes para el desarrollo de nuevos proyectos que dieran continuidad a las investigaciones sobre el impacto del Cambio Climático en Cuba.

En los últimos años se ha intensificado el estudio del impacto del Cambio Climático sobre los ecosistemas costeros. Entre las principales consecuencias del ascenso del NMM se cuentan:

La inundación y desplazamiento de humedales y costas bajas.

La erosión debe ser la causa principal del retroceso de la línea costera, ya que al aumentar el plano de las fluctuaciones de la marea y de otras variaciones no periódicas, como el oleaje y la



componente sinóptica del nivel del mar, en condiciones de régimen y durante eventos atmosféricos severos, se alterarán el equilibrio dinámico, con afectaciones tales como el deterioro de los perfiles de playa.

Mayor amplitud de las inundaciones de tormenta: Deben modificarse algunas ondas parciales de la marea y los parámetros del oleaje con el aumento de la profundidad. También debe ascender el plano de las variaciones de las ondas de corto y largo período como el oleaje y la marea, respectivamente. Por esta razón, es de esperar un incremento de la extensión y consecuentemente de los perjuicios de las inundaciones temporales durante la ocurrencia de los fenómenos atmosféricos severos, sólo como consecuencia del ascenso del NMM, aún asumiendo que se mantengan inalterables en el futuro los patrones actuales del comportamiento de dichos fenómenos.

Aumento de la salinidad en los estuarios debido a una migración de la cuña salina hacia el interior de los mismos y amenaza a los acuíferos de agua dulce debido a un aumento de la penetración de aguas de mayor salinidad en el manto freático de las partes emergidas de la Zona Costera, aunque la velocidad de este proceso dependerá de las características de los suelos, entre otros factores.

Alteración de los patrones de sedimentación: Deben crearse condiciones más favorables para el escape de sedimentos mar afuera a causa de la inundación de zonas bajas y una erosión más severa, más allá de los límites actuales.

Algunos autores confieren una mayor importancia al retroceso de la línea costera, inundaciones temporales e intrusión salina (Titus, 1987); aunque la consecuencia más obvia será la gradual y permanente inundación de las zonas más bajas que ya es evidente en la actualidad. Algunos ecosistemas costeros son particularmente vulnerables, como marismas de agua salada, ecosistemas de manglares, zonas húmedas costeras, playas de arena, arrecifes de coral y deltas de ríos. Los cambios en esos ecosistemas tendrían importantes efectos negativos para el turismo, el abastecimiento de agua dulce, las pesquerías y la biodiversidad" (IPCC, 1995).

Aumentará la profundidad de la plataforma insular y consecuentemente variará la configuración geográfica del litoral y de los pasos de agua que facilitan el intercambio plataforma – océano.

La inundación de las zonas bajas así como la erosión, al provocar el retroceso de la línea costera, ocasionará un distanciamiento entre ésta y los bancos de arena, barreras arrecifales, cadenas de cayos, etc.; todo ello, unido a un paulatino aumento de la profundidad ya mencionado, modificarán los patrones de la dinámica en las aguas someras cercanas al litoral. Esto posee una particular importancia para nuestra Zona Costera, en la cual la plataforma está constituida por lagunas y "mares interiores" delimitados por cadenas de cayos y arrecifes en su lado oceánico.

El ascenso del nivel del mar debe representar una amenaza seria para las especies que aniden en la costa, como las tortugas marinas y las poblaciones de aves marinas que anidan en cayos bajos (Gutiérrez *et al.*, 1999; Hernández *et al.*, 2000a).

El ecosistema de manglar ocupa el 27.6% del área de Reserva de Biosfera Ciénaga de Zapata. Constituye una de las extensiones de manglares mayores y mejor conservadas de Cuba. No tiene usos agrícolas, ni asentamientos humanos.



Este es un bosque perennifolio que presenta un solo estrato arbóreo en el que se encuentran las cuatro especies de mangle que existen en Cuba. Cuando están en la línea de costa se presentan por lo general con una distribución consecutiva, tierra adentro, en el mismo orden que se han referido anteriormente. En la ribera de los ríos y canales se pueden presentar con otra disposición, en ocasiones formando bosques de una sola especie a los que se les llama yanales o patabanales, según la especie de que se trate.

El manglar actúa como protector de la línea de costa y contribuye con la formación del suelo. Constituye un importante refugio para gran cantidad de especies de animales, muchos de los cuales se reproducen aquí. Es uno de los ecosistemas más productivos, aportando gran cantidad de nutrientes que son aprovechados por especies de alto valor comercial, las cuales desarrollan parte de su ciclo vital en este hábitat. El ecosistema de manglar, junto a los arrecifes coralinos y los seibadales son los ecosistemas marinos más importantes del Caribe. Ellos están íntimamente relacionados entre sí por el intercambio de materia y energía, por lo que su buen funcionamiento depende del desempeño de cada uno (Ogden, 1982).

Las predicciones de los impactos del nivel del mar sobre los manglares se han calificado de simplistas debido a que se asume que la estructura del ecosistema y la zonación de la plantación son uniformes. Experimentos de campo y análisis de más de 200 humedales costeros en el Caribe Insular sugieren que las respuestas del sistema pueden ser muy variables debido a los numerosos tipos de humedales y sus características geomorfológicas. Los impactos sobre los manglares pueden incluir algunas pérdidas, pero la migración hacia tierra adentro, cambios en la dominancia e incremento de área a corto plazo, dependerán de las características del lugar (Bacon, 1994).

Se considera que una serie de factores físico - químicos como la temperatura, insolación, viento, evaporación, naturaleza del suelo, nivel del manto freático, proximidad de la fuente de agua dulce, salinidad del agua en el suelo, drenaje y la aireación son los principales determinantes del crecimiento y desarrollo de los manglares en el sentido de que pueden modificar uno o más procesos de vida esenciales dentro de la comunidad de manglar: fotosíntesis, respiración, crecimiento y equilibrio del agua/transpiración.

Resultan escasos los datos acerca del alto y frecuente contenido de agua en los suelos del manglar (Hesse, 1961; Clarke y Hannon 1967; Naidoo, 1980; Hutchings y Saenger, 1987), aunque hay evidencias de que diferentes manglares muestran una respuesta diferenciada a los grados de anegación. Cada especie de mangle (particularmente aquellas que pertenecen a los géneros *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Sonneratia*, *Heritiera* y *Nypa*) aparecen en condiciones ecológicas que permiten sus límites de tolerancia en relación con la salinidad del suelo y del agua, así como el régimen de inundación. Si la duración de la inmersión diaria fuera modificada por eventos climatológicos, tectónicos, sedimentológicos o hidrológicos, las especies se ajustarían a las nuevas condiciones o sucumbirían definitivamente (Saenger *et al.* 1996). Las predicciones sobre las afectaciones del aumento del nivel del mar pudieran ocasionar a los manglares, es un tema muy controvertido en la literatura reciente. En Jamaica se demostró poca variación en área en un período de 300 años, en unidades geomorfológicas definidas, probablemente debido a una combinación de factores: pequeños cambios de marea, la geomorfología del sistema, falta de arribo de grandes cargas de sedimentos y eventos episódicos como los huracanes (Alleng, G. P., 1998). Estudios sobre la mortalidad de los manglares en varias localidades (Guyana, Gambia, Costa de Marfil, Kenya, India y Bangladesh), demuestran que estos ecosistemas están tan especializados que una pequeña variación de su hidrología o régimen de marea puede causar mortalidades notables (Blasco, F. Y.P. Saenger, *et al.*, 1996). Revisiones de registros estratigráficos del ecosistema de manglar durante los cambios del nivel del mar en el Holoceno, muestran que las pequeñas islas serán particularmente



vulnerables a la pérdida de los manglares durante el incremento del nivel del mar en los próximos 50 años. Los autores plantearon que en estas localidades el ecosistema de manglar pudiera mantenerse a niveles de incremento del mar de 8-9 cm/100 años, pero a promedios de 12 cm/100 años no persistirían. Esto sería debido a los bajos promedios de las tasas de acumulación del sedimento con fuentes externas limitadas, tales como ríos o fuentes de erosión de suelo. Otros factores que contribuyen a la persistencia de los manglares son la producción primaria del bosque, la erosión costera debido a la turbulencia profunda y más fuerte del agua, y la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales (Elison y Stoddart, 1991). En relación a sus posibilidades de éxito en condiciones de mayor inundación se ha demostrado experimentalmente que el incremento del nivel del mar resulta beneficioso para el crecimiento y desarrollo de *Rhizophora mangle* (Ellison y Farnsworth, 1997). Reconocidos autores plantean que el manglar no puede vivir en zonas permanentemente inundadas. Estudios recientes realizados en Key Large, Florida, demostraron que un incremento de 15 cm del nivel del mar en los últimos 70 años, ha ocasionado la disminución de los bosques de Casuarina e incrementado la presencia de especies halófilas propias de los manglares (O'Brien *et al.*, 1994).

Durante los años 2002 y 2003 se ejecutó el proyecto "Evaluación de la tasa de incremento del nivel medio del mar y su influencia sobre algunas características oceanográficas y de las áreas de manglares de la plataforma insular cubana", auspiciado por el Programa Nacional de Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano. En este proyecto se estimó la tendencia del nivel medio del mar a largo plazo y la influencia de este proceso sobre algunas de las principales características dinámicas e hidrológicas de la plataforma insular cubana sobre la base del análisis del caso de estudio Golfo de Batabanó. Se estimó también el área de inundación de la Península de Zapata y se aportaron valiosos datos sobre los movimientos verticales de la corteza terrestre de gran parte del perímetro costero de Cuba. Se brindaron algunas consideraciones sobre la afectación que los esperados incrementos del nivel del mar pudieran ocasionar al ecosistema de manglar en la mencionada localidad del SW de Cuba, cuyos valores paisajísticos, ecogeográficos y de biodiversidad la han hecho merecedora de la Categoría de Reserva de la Biosfera. En el presente trabajo se exponen parte de los resultados del mencionado proyecto.

El objetivo del presente trabajo es la determinación de la tasa de incremento del nivel medio del mar, considerando los movimientos verticales de la corteza terrestre y evaluar la influencia de estos procesos sobre las características de la hidrología y dinámica de las aguas del Golfo de Batabanó y los bosques de mangle y la biodiversidad de la Península de Zapata a largo plazo.

## Materiales y métodos.

En calidad de información primaria se usaron datos de las alturas horarias del nivel del mar en cinco estaciones con registros largos: Los Morros, Siboney, La Isabela, Gibara y Casilda (Tabla 1).

Tabla 1: Puestos mareográficos con registros de varias décadas de duración utilizados en el presente trabajo

n/n	Estación	Latitud N	Longitud O	Registros utilizados
1	Los Morros	21 54 .0	84 54.4	1973 al 2004
2	Siboney	23 05.5	82 28.3	1966 al 2004
3	La Isabela	22 56.8	80 00.6	1973 a 2004
4	Gibara	21 06.5	76 07.5	1976 al 2004
5	Casilda	21 45.3	79 59.3	1972 a 1995



Se aplicó el Sistema para el Análisis de Mareas elaborado por el Dr. Patrick Caldwell de la Universidad de Hawaii que es el recomendado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, para el análisis de calidad. Los valores medios anuales se calcularon a partir de los valores medios diarios, los cuales fueron obtenidos mediante el filtro X0 (UNESCO, 1985).

La evaluación de la influencia de los cambios del nivel medio del mar sobre la temperatura, la salinidad y la circulación de las aguas en el Golfo de Batabanó se realizó a partir de datos e información oceanográfica, hidrográfica y meteorológica de archivo (Victoria *et al.*, 1990; Blazquez *et al.*, 1982 y 1988; Emilsson y Tápanes, 1971; Rodríguez y Rodríguez, 1983; Hernández y Díaz, 2003a; Lluís-Riera, M. (1972, 1977, 1981 a y b, 1983 a, b, c, 1984; Hernández *et al.*, 2002; Mitrani 2000 y 2001; Moreno *et al.*, 1997) e imágenes Landsat 7).

Se elaboró un modelo matemático a partir de las ecuaciones que describen la dinámica de las aguas someras para el cálculo de la circulación general en el Golfo de Batabanó.

Tomando en consideración los escenarios de ascenso del nivel medio del mar que se brindan en IPCC 2001a, se asumieron dos valores probables de incremento del mismo de 0.5 y 1.0 m para el 2100, con la finalidad de simular la circulación de las aguas en el Golfo de Batabanó mediante el modelo matemático. La circulación superficial generada por el efecto del viento se obtuvo de la siguiente forma:

Sea dado un sistema de coordenadas rectangulares  $(x, y, z)$ , donde  $x$  es positiva hacia el Este;  $y$  hacia el Norte; y  $z$  hacia arriba. Se calculan las componentes horizontales de la corriente según las ecuaciones (1) y (2), (Brown, 1989).

$$U_E = \frac{3.7 * \bar{\lambda}_x}{100} \quad (1)$$

$y$

$$V_E = \frac{3.7 * \bar{\lambda}_y}{100} \quad (2)$$

donde

$U_E, V_E$  -- componentes horizontales de la velocidad de la corriente.

$\bar{\lambda}_x, \bar{\lambda}_y$  -- componentes de la velocidad del viento en las direcciones  $x$  y  $y$  respectivamente.

En principio se incluye la marea como condición de frontera lateral en la entrada al sur del Golfo. Nótese que se trata de una solución para una escala de tiempo menor que el periodo de marea.

A partir de las ecuaciones del movimiento para un fluido hidrodinámico, teniendo en cuenta como forzamiento horizontal sólo aquel que es provocado por las mareas, se obtienen las siguientes relaciones de ondas para la amplitud de la elevación de la superficie y de la velocidad de la corriente inducidas por la propagación de ondas en una dirección  $y_L$  (Bowden, 1983).

$y_L = -y \cos(\phi)$ ,  $\phi$  es el ángulo entre el eje  $y$ , y la dirección  $y_L$



$$\xi = A \cos(ky_L - \sigma t) \quad (3)$$

$$UV_M = u \cos(ky_L - \sigma t) \quad (4)$$

y

$$u(y_L) = \sqrt{\frac{g}{H}} A_L \quad (5)$$

Donde:

$\xi$  -- elevación de la superficie oceánica.

$UV_M$  -- componente de la velocidad de la corriente generada por las ondas que llegan al Golfo, o sea, en la dirección del eje x.

$u$  -- amplitud de la corriente inducida por la marea.

$A_L$  -- amplitud de la elevación de la superficie del océano.

$H$  -- profundidad.

Por otro lado, las ondas que penetran al Golfo a través de su única frontera líquida son modificadas por la fricción con las costas, el fenómeno de resonancia. Sea  $x_0$  y  $x_L$  las ordenadas de dos puntos cualesquiera del Golfo, y  $A_0$  y  $A_L$  las amplitudes de la elevación de la superficie en dichos puntos, entonces se cumple, (Bowden, 1983):

$$A_L = \frac{A_0}{\frac{1}{2} (\cosh(2\mu x_L) - 1)} \quad (6)$$

Donde:

$$\mu = \sqrt{\frac{1 - gH}{fH}}$$

Utilizando las expresiones (5) y (6) podemos inferir valores de corriente inducida por la marea para todos los puntos del Golfo a partir de datos de las estaciones en el área y teniendo en cuenta su variación provocada por el relieve del fondo (lo cual es más importante en los canales) y por las costas.

Se aplica este razonamiento en cada paso entre los cayos al sur que se consideraron de importancia en la simulación. O sea, situar los puntos a calcular adecuadamente en relación a la información de frontera a través de cada canal entre los cayos (Bowden, 1983).

Finalmente el algoritmo general para la obtención de un patrón de circulación en la zona es:

Si  $x_L$  es el punto donde se desea conocer la velocidad de la corriente, entonces:

$$U_T = U_E + U_M$$

$$V_T = V_E + V_M$$

Donde  $U_E$  y  $V_E$  son calculadas según (1) y (2) y

$$UV_M(y_L) = \left[ \sqrt{\frac{g}{H}} \right] A_L \dots \dots \dots (7) \quad Y \quad \begin{aligned} U_M &= UV_M \cos(\phi) \\ V_M &= UV_M \sin(\phi) \end{aligned}$$





La relación anterior (7) permite hacer un estimado de los cambios del valor máximo de la corriente en dependencia de los cambios en la profundidad y la elevación de la superficie.

Aplicando este algoritmo mediante una rejilla regular de 19 por 53 con 5 millas náuticas (aproximadamente 9 km) entre nodo y nodo, se obtuvo un campo de corrientes en el golfo, que es el resultado de la acción conjunta del viento, la marea y la influencia oceánica en el área. El modelo se implementó en Matlab 6.1.

La geodinámica reciente es un factor determinante en el análisis de las variaciones y la tendencia a largo plazo del nivel del mar, por lo que primero se procedió a realizar una búsqueda, localización y valoración de las informaciones que aportan elementos sobre el nivel del mar y la influencia que sobre éste ejercen las estructuras geológicas situadas en las inmediaciones de la zona de estudio.

Sobre la base de la información histórica y los materiales existentes se determinaron aquellos que puedan ser utilizados para definir los movimientos verticales de las zonas del litoral o aledañas y las fluctuaciones del nivel del mar, para finalmente brindar cuáles son las informaciones más factibles a utilizar en la investigación. Se realizó un análisis de factibilidad para determinar el método a utilizar sobre la base de la información con que se cuenta en la zona de estudio.

De los diferentes métodos existentes (mareográfico, cartográfico, geodésico, sísmico, geólogo-geomorfológico, instrumentales), se emplearon principalmente los métodos geodésico y cartográfico para definir la historia del comportamiento de los movimientos en base a las huellas palpable de hundimiento de las costas, expansiones demográficas, etc, por lo que se analizará la existencia de mapas de diversas escalas, ediciones y temáticas, dentro de las cuales se pueden analizar el uso de técnicas convencionales o avanzadas como son los de percepción remota o de tratamiento de imágenes.

En la investigación se emplearon también métodos empíricos que se distinguen por la observación de diferentes materiales y por la consulta y entrevista con personal especializado o experto en las disciplinas seleccionadas. Se localizaron una gran cantidad de materiales y gráficos resultantes de trabajos de investigación de diversas disciplinas, relacionadas con la actividad a desarrollar, dándole mayor peso a los expuestos en los últimos 10 años.

De los materiales se extrajeron las referencias que se estimaron más importantes, aquellas que se tenían a mano se ubicaron en lugares de fácil acceso y del resto se anotaron los datos sobre el lugar de conservación y sobre la institución responsable de ellas. En cuanto a las entrevistas se procedió a completar la información sobre algunas cuestiones no encontradas en los materiales con el objeto de completar las ideas y llegar a conclusiones sobre el desarrollo de la actividad a realizar para definir si es suficiente o no la información obtenida.

Las consultas sirvieron para definir los límites de las áreas para los que se ha procedido a establecer como alcance máximo en tierra firme el itinerario de las líneas de Primer Orden de precisión paralelas a la línea de la costa y la selección de las coordenadas se ejecutó a partir de la escala 1: 250 000. En el caso de la Ciénaga de Zapata, como región de estudio, se tomó toda la zona oeste de la Península de Zapata Occidental, debido a que se conoce de antemano la escasez de trabajos *in situ*. Como la investigación se realizó sobre la base de los resultados obtenidos por otras investigaciones en el área.



En la recopilación de las informaciones gráficas se utilizaron esquemas, mapas y gráficos impresos por métodos convencionales o digitalizados tanto de forma independiente como formando parte de la base gráfica de un sistema informativo geográfico (SIG). En cuanto a la información literal se tomaron en cuenta infinidad de materiales que se encuentran relacionados con la geodinámica reciente.

La línea de nivelación de precisión que se distribuye en el área es la denominada Güines – Mendoza y se encuentra de 5 a 10 km de la costa, ha sido reobservada en tres ocasiones diferentes por lo que el método geodésico en este caso es aplicable.

Para la representación precisa de la variación de los niveles de marea y topografía se emplea las alturas de cotas fijas en diversos periodos de tiempo y sobre mapas se describe la ubicación y localización de diversos fenómenos naturales y humanos. Esto es la esencia de lo que se aplica en el método cartográfico, lo cual puede llevarse a cabo por la existencia de mapas topográficos en diferentes escalas, ediciones y temáticas.

El empleo del método cartográfico realizado por las comparaciones de las hojas topográficas a escala 1: 50 000, correspondientes a las ediciones de los años 1957 y 1980 ha servido para valorar los aspectos que se mencionan a continuación:

- El surgimiento o no de áreas sumergidas
- La revelación de la reestructuración de la red fluvial para un periodo dado.
- Las fluctuaciones del nivel del mar.
- Indicios del hundimiento o del ascenso de la costa..
- Valoración de la velocidad de desplazamiento vertical sobre la base del relieve y el desarrollo económico de la región.
- Comportamiento del nivel de visibilidad a partir de perfiles topográficos.

La edición del 57 fue preparada de acuerdo a la legislación cartográfica vigente bajo la supervisión y aprobación del Instituto Cubano de Cartografía y Catastro de Habana. Cuba por la Aero Service Corporation de Filadelfia. EUA, utilizando métodos aerofotogramétricos modernos basados en fotografías aérea tomadas en el 56 y 57, cartas hidrográficas de la Marina de Guerra de los EUA (1951-52), control geodésico topográfico Geodetic Survey (Servicio Geodésico Interamericano), nomenclatura obtenida y revisada por el Instituto para los mapas municipales en colaboración con la Oficina Nacional de los Censos Demográficos y editorial (1953-57), límites municipales basado en los mapas planimétricos de la Oficina Nacional de Censo, inspección de la compilación y edición con la cooperación de la US Army Map Service..

Esta edición fue confeccionada por la Aero Service Corporating mediante contrato específico con la Junta nacional de Planificación de la República de Cuba y financiado por el Banco de Desarrollo Económico y Social.

La edición del 68 por su parte fue realizada por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, ICGC en base a las fotos aéreas de la década del 70 y a los trabajos de control foto, utilizando para ello los métodos fotogramétricos bajo la asesoría soviética. Los límites de las hojas se ejecutaron de acuerdo a lo dispuesto en la edición del 57.

Estos mapas no fueron comprobados íntegramente en el campo, las cercas y linderos señalados no siempre expresan límites de propiedad y en estas hojas, algunas de las islas están situadas de acuerdo a las cartas hidrográficas.



Las cotas fijas están referidas al nivel medio del mar y a los paralelos normales de la proyección cónica conforme de Lambert Cuba Norte, las profundidades han sido referidas al nivel medio de marea baja.

Para el empleo de los perfiles de velocidad de desplazamiento se tuvo en cuenta la subida o bajada sistemática de las cotas y su coincidencia o no con las elevaciones del terreno.

La valoración de los datos proporcionados por la red de nivelación reiterada en su capacidad de reflejar la deformación morfoestructural y el grado de actividad tectónica, ha tenido en cuenta la densidad y distribución de los puntos, el periodo de tiempo y la exposición específica de las líneas en las áreas de estudio.

En este caso los perfiles han estado formado por las líneas de nivelación de Güines – Mendoza, Güines – Trinidad y Playa Girón -Abreus. De Güines- Mendoza se ha tomado solo el tramo correspondiente de Güines a Alquizar, de Güines – Trinidad se ha utilizado el tramo entre Güines y la Ciudad de Cienfuegos, ambas líneas con precisión de I orden se encuentran desplazadas en zonas muy alejadas de la costa. Un tramo de esta línea se conforma por cotas fijas que se distribuyen paralelas a la costa; en el tramo de Playa Larga a Playa Girón. La línea Playa Girón – Abreus es la única de II orden de precisión que existe en esta zona y que cumple el requisito de estar muy cercana a la línea de costa.

Para esta línea se calcularon valores como la longitud total de la línea en km, los puntos que inician y finalizan la línea, el itinerario de ésta, los años de medición de los cilcos y finalmente para cada ciclo los errores medio cuadráticos sistemático y casual para los que se ha empleado las fórmulas siguientes :

$$\eta^2 = \frac{1}{4n} \left[ \frac{d^2}{r} \right] \dots\dots\dots(8)$$

$$\delta^2 = \frac{1}{4L} \left[ \frac{S^2}{L} \right] \dots\dots\dots(9)$$

Estas están en función del número de puntos, longitud en km, diferencia ente los desniveles medido en uno y otro sentido y de la distribución de estas diferencias.

Para el procesamiento geodésico se han empleado las dos reiteraciones realizadas sobre las líneas de nivelación de I y II órdenes que se caracterizan principalmente por :

- No coincidir con exactitud los itinerarios de ambas iteraciones quedando en ocasiones grandes extensiones de terreno sin información geodésica comparativa.
- Precisiones similares, aunque se emplearon para cada iteración metodología, instrumental y personal diferente, con incidencia en la magnitud de los errores que están en el orden de las décimas del milímetro.



- La apreciación puntual de una tendencia de los movimientos de una estructura respecto a otra.
- La exposición de grandes desplazamientos de estructuras en largos periodos de tiempo para tiempos relativamente cortos
- La existencia de periodos de tiempo diferentes entre las iteraciones, por tramo o líneas, hacen no homogéneo el análisis del tiempo de desplazamiento de las estructuras..

A pesar de haberse ejecutado en períodos diferentes las observaciones y de no coincidir con exactitud cada itinerario aspectos que afecta la realización de un pronóstico de los desplazamientos, si posibilita el análisis de tendencia de los movimientos al realizar de conjunto el estudio cuantitativo y cualitativo de los materiales analizados en la zona.

Las inconcordancias entre las reiteraciones se deben a las modificaciones que se hicieron de una red a otra para lograr una mejor configuración y mayor permanencia de los monumentos en el terreno.

La técnicas empleadas responde a las metodologías empleadas por Marques (1997) y Lilienberg, D.A., J.L. Díaz y V. Pascual (1976).

Las edades geológicas tomadas como referencia para la valoración geodinámica fueron el neógeno y el cuaternario, por ser éstos los elementos responsables del modelaje esencial del relieve de la superficie terrestre que conservan la tendencia principal de la época actual reflejando la disposición de las estructuras en desarrollo sobre las que actúan los procesos exógenos.

Las metodologías de observación empleada en cada reiteración de la nivelación geodésica difieren entre sí, así como el instrumental empleado, sin embargo, cada método de modo independiente garantiza una precisión de los desniveles del orden de la décima del milímetro, por lo que las manifestaciones de los movimientos respecto al tiempo son perceptibles en el orden de los milímetros. El procesamiento de los materiales geodésicos se ha hecho con el fin de que las magnitudes obtenidas valoren las características de la geodinámica reciente en cada zona de estudio. Siempre que ha existido la posibilidad, se han tomado fechas similares para comparar y con igual precisión. Para el procesamiento se han tenido en cuenta los datos existentes tomando como elementos fundamentales la nomenclatura de las cotas fijas, año de observación de cada desnivel, orden de precisión de las observaciones y desniveles por cada reiteración. Los elementos geólogos tectónicos evaluados han sido extraídos de resultados e informes expuestos por autores que han establecido en sus investigaciones criterios que resultan de nuestro interés y que han sido utilizados como referencia para nuestro fin.

Con la finalidad de elaborar el escenario de inundación de la Península de Zapata para un aumento del nivel medio del mar de 0.5 y un 1.0 para el año 2100, se extrajo de cartas topográficas a escala 1:50 000 la información sobre la altura del terreno en la zona de estudio y estos datos se interpolaron tomando en cuenta un aumento de 0.5 m y un aumento de 1.0 m para el año 2100. Se tomó en consideración la tendencia de los movimientos recientes de la corteza terrestre en la valoración final del trazo de las isolíneas de 1.0 m y de 0.5 m. Se utilizó un mapa digitalizado y manejable mediante el software SURFER 7.0 con la finalidad de garantizar un trazado georeferenciado de las isolíneas.

Con la finalidad de evaluar la influencia de los cambios de la hidrología y dinámica de las aguas esperados sobre el ecosistema de manglar y su biodiversidad asociada en la zona de estudio se partió del escenario de inundación de la Península de Zapata, materializado en un mapa donde

14





Se caracterizó la geodinámica en las costas a escala 1:250000 mediante mapas de velocidad y gradientes de MRCT (Fig. 2).

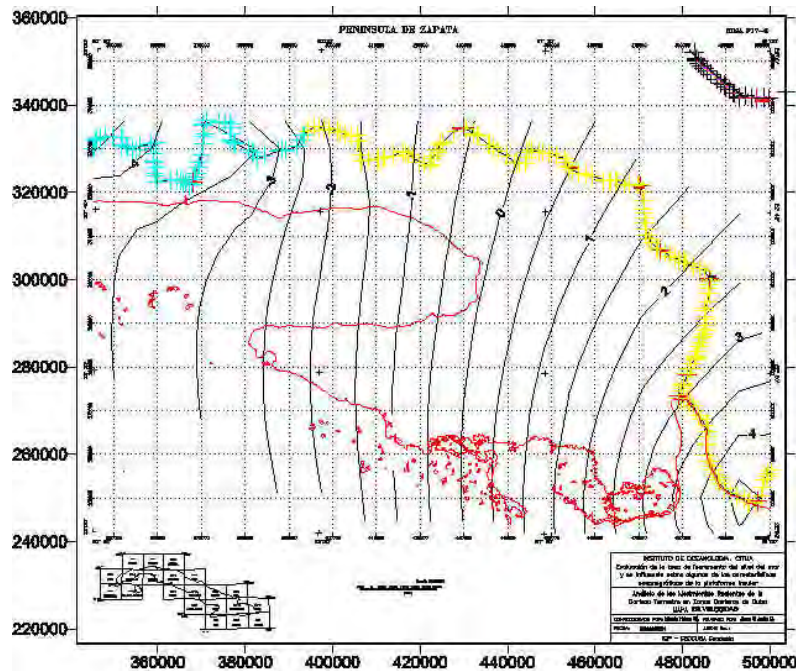


Fig. 2: Esquema de la velocidad de los movimientos recientes de la corteza terrestre en la península de Zapata.

Se elaboró un escenario de inundación de la Península de Zapata para un aumento del nivel medio del mar de 0.5 y un 1.0 para el año 2100 (Fig. 3).

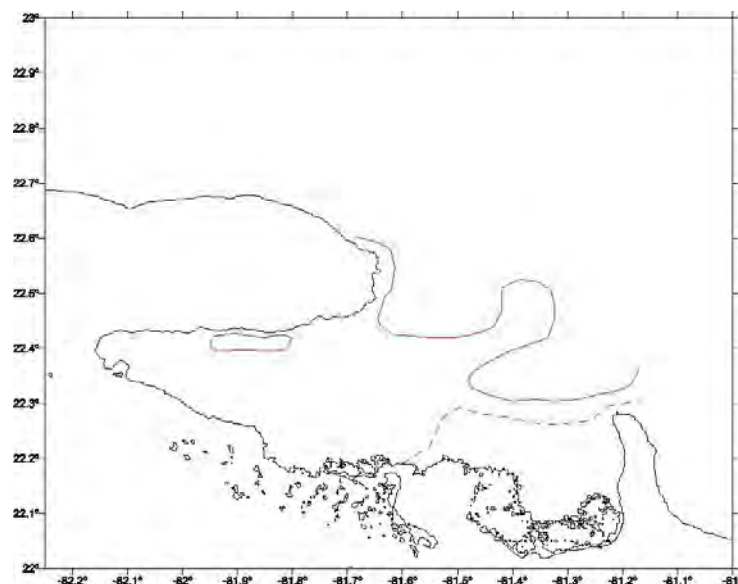


Fig. 3: Escenario de inundación. El trazo discontinuo corresponde a la inundación causada por un aumento de 0.5 m del nivel medio del mar y el trazo continuo a una elevación de 1.0 m para el 2100.





## DISCUSIÓN.

Los Cayos Los Guzmanes, los Cayos del Hambre y la cayería Islas de Mangles, interfieren parcialmente la circulación general del Golfo de Batabanó. La distribución de los sedimentos del fondo, que se pueden ver entre los  $82^{\circ} 55'$  y los  $83^{\circ} 10'$ , en el extremo norte de las Islas de Mangles como una pluma blanca orientada casi zonalmente (Fig.1), así como el cambio de coloración de la imagen en el área comprendida entre la costa norte de la Isla de la Juventud y dicha cayería, que atestigua una circulación menos intensa, así lo evidencia..

En el primer caso es evidente la existencia de corrientes más fuertes que se producen en el paso de agua que existe entre las Islas de Mangle y los Cayos del Hambre, donde al interrumpirse la continuidad de la cadena de cayos, se posibilita el arrastre constante de sedimentos y la formación del banco que aparece reflejado como la mencionada pluma blanca. El eje de la corriente principal que fluye de Este a Oeste en el Golfo de Batabanó, está ubicado de esta forma más cerca de la costa de la Isla de Cuba que de la costa Norte de la Isla de la Juventud debido a las condiciones topográficas de la parte occidental del Golfo de Batabanó.

En el segundo caso el cambio de coloración del agua debe responder a la existencia de corrientes más débiles, que al parecer, no logran imprimir el sello de la circulación sobre el fondo marino. En relación con esto, vale la pena comentar que, en el esquema de la circulación general que propusieron Emilsson y Tápanes (1971) se produce una penetración de la corriente desde el Océano al noroeste de la Isla de La Juventud, fenómeno que si bien puede existir debido al forzamiento de la contracorriente cubana, debe verse fuertemente limitado por las cadenas de los Cayos de San Felipe y de Los Indios. Independientemente de que el patrón general de circulación en el interior del Golfo de Batabanó, es Este-Oeste, puede existir en determinadas circunstancias penetración de las aguas en la plataforma desde el Oeste. Con lo mostrado en esta figura se corroboran los resultados del análisis cualitativo realizado mediante el espacio-mapa para la parte occidental del Golfo de Batabanó.

Los datos capturados durante anteriores proyectos y la información estadística y descriptiva aportada por el análisis de los mismos permitió contar con la base indispensable para realizar una incursión en la modelación matemática. En este sentido, se corrió un modelo matemático que permitió obtener el vector corriente en nodos de una rejilla regular a intervalos de 5 mn con el propósito de simular el patrón general de la circulación en el Golfo de Batabanó, en condiciones diferentes de velocidad y dirección del viento y con diferentes fases de la marea, en llenante o vaciante.

La distribución espacio-temporal de la temperatura y la salinidad en una plataforma atípica como la del archipiélago cubano, donde predominan las aguas someras, es aleatoria a corto plazo, ya que está sujeta a la acción de fenómenos meteorológicos que hacen cambiar con mucha rapidez las características de dicha distribución. El Golfo de Batabanó ha sido el mejor muestreado y estudiado de las plataformas cubanas y cuanta con datos desde finales de la década del 50 (Lluis R., 1971).

En el presente trabajo se usó como punto de partida en el análisis de los probables cambios de la temperatura y la salinidad dos modelos esquemáticos elaborados por Lluis R. (1972) para el mes de abril y el mes de julio de 1969. El momento en el tiempo es realmente distante de la actualidad pero estos modelos esquemáticos cuantan con el respaldo documental rigurosamente elaborado del artículo antes citado, por lo que en este sentido son confiables.



Según la citada fuente, durante el mes de abril se correlacionan los procesos de renovación de las aguas y evaporación dando lugar como algo peculiar de esta etapa del año cuando está por finalizar la temporada de seca, por lo que los valores de salinidad son altos. Solo al Norte del Golfo se aprecian zonas de menor salinidad debido al aporte de algunos pequeños ríos y a la Ensenada de la Broa. En esta parte tienen lugar procesos de mezcla de las aguas provenientes de tierra con las aguas de la plataforma en pequeña escala. Se percibe además claramente, la influencia de las aguas oceánicas en la parte oriental del Golfo, como una lengua de aguas con valores de salinidad y temperatura semejantes a las oceánicas adyacentes. En la parte suroccidental sin embargo no se encontraron evidencias, al menos en este trabajo, de penetración de las aguas.

En el mes de julio Lluís R. (1972) se aprecia una ampliación del área con menores promedio de salinidad y una distribución de temperatura "perfectamente definida". En la parte Norte los menores valores de las propiedades físicas obedecen a la abundante penetración fluvial. Se señala además, cierta concordancia de la distribución espacial de los campos hidrofísicos con la probable circulación de las aguas, deducida indirectamente, ya que en el momento de la publicación de este artículo no se contaba aun con el trabajo de Blázquez et. al (1988) y se destaca la probable importancia de las cayerías situadas meridionalmente en el interior del Golfo para la circulación y la renovación de las aguas.

Desde la construcción del Dique Sur el escurrimiento debe haber sido afectado en alguna medida, quizás suficientemente grande, como para que sus efectos se sientan en zonas alejadas de la costa. Sin embargo, de acuerdo a la bibliografía revisada aun no se sabe con exactitud el área de influencia mar adentro de esta obra hidrotécnica sobre la salinidad. Por otra parte, el aporte de agua dulce que podría influir sobre la distribución espacio-temporal de la salinidad debe haber sido afectado también en las zonas cercanas a la costa debido a la continuación de los trabajos de represamiento de los ríos y de aprovechamiento en general del agua dulce.

Con la reducción del aporte de escurrimiento debido a las obras hidrotécnicas antes mencionadas las aguas del Golfo deben estar recibiendo en lo fundamental, el agua dulce que proviene de los eventos de lluvias que ocurren directamente sobre su superficie y desde tierra, desde aquellos lugares donde la topografía permita el flujo de agua hacia el mar. Lamentablemente no existen tampoco registros continuos de los eventos de lluvias sobre las aguas del Golfo.

Solo se puede entonces asumir que la distribución esquemática elaborado por Lluís R. (1972) para el mes de abril y julio podría repetirse en la actualidad con cierto grado de reserva con respecto a la parte norte más alejada a la costa sur de La Habana. Obviamente, durante la época de lluvia se enmascara la influencia oceánica en la distribución espacio-temporal de la salinidad debido al aporte de agua dulce, que proviene del escurrimiento y al que procede directamente de las lluvias que acontecen sobre las aguas del Golfo.

Existe al menos, un aspecto muy importante a considerar con relación a la influencia del incremento del nivel medio del mar sobre las dos principales características hidrológicas conservativas del agua de mar, la temperatura y la salinidad: El aumento del intercambio a través de las numerosas pasas y canales existentes entre los cayos y pequeños islotes tanto en el límite oceánico del Golfo como en el interior de este, al aumentar la profundidad como consecuencia del incremento del nivel medio del mar (Hernández *et al.*, 2000a). Por tanto, hipotéticamente, se puede asumir que la variación de la profundidad debe ser el principal factor



de la influencia directa de un incremento del nivel medio del mar sobre los parámetros antes mencionados.

De acuerdo a la bibliografía consultada (Blázquez *et al.*, 1988; Rodríguez y Rodríguez, 1983; Mitrani *et al.*, 2001 y Hernández y Díaz, 2003) la marea debe ejercer mayor influencia en las zonas próximas a los pasos de agua en el perímetro exterior del Golfo y el viento en las amplias áreas abiertas del acuario, sobre todo en su parte Este debido al gran espacio abierto a las aguas profundas de la Fosa de Jagua y ser precisamente del Este la dirección de los vientos predominantes.

Tomando en consideración los escenarios de ascenso del nivel medio del mar que se brindan en IPCC 2001-a, se asumieron dos valores probables de incremento del mismo de 0.5 y 1.0 m para el 2100, con la finalidad de simular la circulación de las aguas en el Golfo de Batabanó, mediante el mismo modelo matemático, cuyos resultados para las condiciones actuales se expusieron con anterioridad. El valor de 0.5 m se corresponde aproximadamente con el valor medio del intervalo y el valor de 1.0 m se aproxima al valor más alto del intervalo. Dado las incertidumbre reinante en las propias evaluaciones del IPCC y la exactitud ya comentada de las bases cartográficas disponibles no se consideró tomar los valores exactos que aparecen en la mencionada fuente sino más bien, valores aproximados en números redondos de más fácil tratamiento.

Existe aun incertidumbre sobre cómo variará el régimen de vientos a largo plazo en el marco del Cambio Climático (IPCC 2001a ), por lo que se asume en este trabajo que el régimen de vientos no cambiará.

Se aplicó un modelo matemático elaborado en el Departamento de Oceanografía del Instituto de Oceanología con la finalidad de determinar los cambios en la circulación de las aguas para un incremento del nivel medio del mar en el año 2100 de 1 m. En este sentido, se debe producir un aumento de la velocidad de la corriente que es más notable en el 2100 con respecto al momento actual, sobre todo en la zona central y Este del Golfo. Los cambios en la circulación general deberán afectar también las distribución de la salinidad y la temperatura.

De acuerdo a los modelos esquemáticos de la temperatura y la salinidad comentados con anterioridad, dado las condiciones de un probable aumento de la velocidad de las corrientes en la parte central y oriental del Golfo de Batabanó hacia el 2100, es posible esperar una profundización de las condiciones oceánicas hacia el interior de la plataforma, representadas en el esquema del mes de abril por una lengua con temperaturas y salinidad semejante a las de las aguas oceánicas adyacentes. Este proceso será favorecido por la gradual disminución del efecto limitante del intercambio plataforma – océano de las cadenas de cayos y bajos fondos en la medida en que ascienda el nivel medio del mar. Por otra parte, algunos de estos accidentes geográficos serían afectados cada vez en mayor medida por la acción de los fenómenos meteorológicos severos. Las condiciones climáticas que se esperan para finales del siglo XXI no serán favorables para el aumento del escurrimiento fluvial hacia las aguas de la plataforma máxime cuando deberá aumentar la necesidad del uso del agua dulce con fines agrícolas. El solo ascenso del nivel medio del mar propiciará un aumento de la salinidad en los estuarios, los acuíferos costeros y en las aguas subterráneas cercanas al litoral. De esta forma, en las condiciones características de la etapa seca del año es de esperar una mayor influencia de las características oceánicas, sobre todo en la parte central y oriental del Golfo de Batabanó con una consecuente reducción de la variabilidad temporal de la temperatura y la salinidad. El transporte Este-Oeste dentro del Golfo podría ser favorecido con la disminución paulatina del



efecto limitante que ejercen también la cadena de cayos y bajos fondos que divide en dos partes el Golfo.

En las condiciones características de la temporada de lluvias como las descritas en el modelo esquemático de julio es de esperar también una profundización de las condiciones oceánicas aunque en menor medida. Durante los meses de la temporada de lluvias ocurren con menor frecuencia fenómenos meteorológicos favorables para la mezcla y el transporte hacia el interior del Golfo de las aguas oceánicas que en la temporada de seca, como los sures que afectan la mitad occidental de Cuba durante la temporada de ocurrencia de los frentes fríos (Rodríguez y Ballester, 1985).

La zona meridional de la Península de Zapata es una llanura de costa emergida recientemente porque los valles permanecen inundados en la estación de lluvia, aunque las cuevas se mantienen con agua todo el año. El nivel del agua soterrada es continuo y está tan cerca de la superficie que coincide con ésta en muchos lugares, aspecto provocador de la abundancia de ciénaga en el lugar. Las ciénagas occidental y oriental de Zapata están entre las más grandes de agua salobre o dulce del interior de Cuba. El carso se corresponde a las llanuras costeras cubierta por marismas y pantanos de agua salobre o dulce y turberas. En la ciénaga oriental de Zapata se hallan grandes lagos cárscicos como lo es la Laguna del Tesoro, el nivel de agua subterránea fluctúa considerablemente según la distribución anual de precipitaciones a lo largo de la costa, según las fluctuaciones de la marea perdiendo espesor la capa de agua dulce en época de seca.

A través de la línea Playa Girón - Abreus se distingue la zona Zaza que contiene el bloque Rodas y la Llanura de Cienfuegos y de acuerdo a los perfiles de velocidad se observa la concordancia de éste con el relieve superficial de la zona, destacándose en el bloque de Cienfuegos, región de mayor altura, valores de velocidad que oscilan por los 1.5 mm/año (Fig.2) y en el límite de éste con la llanura de Cienfuegos se inicia un descenso en las que las magnitudes de la velocidad alcanzan los -2 mm/año.

Tomando en consideración los escenarios de ascenso del nivel medio del mar que se brindan en IPCC 2001-a, se asumieron dos valores probables de incremento del mismo de 0.5 y 1.0 m para el 2100, con la finalidad de determinar el área de la Península de Zapata que quedaría inundada. El valor de 0.5 m se corresponde aproximadamente con el valor medio del intervalo y el valor de 1.0 m se aproxima al valor más alto del intervalo. Dado las incertidumbre reinante en las propias evaluaciones del IPCC y la exactitud ya comentada de las bases cartográficas disponibles no se consideró tomar los valores exactos que aparecen en la mencionada fuente sino más bien, valores aproximados en números redondos de más fácil tratamiento.

De cumplirse la primera expectativa, debe sufrir inundación permanente una porción del sur este de la Península de Zapata, en cambio, si se produjera un ascenso del nivel medio del mar en correspondencia con el escenario más pesimista podría afectarse casi todo este territorio del archipiélago cubano (Fig. 3). Este escenario de inundación se asemeja un poco al obtenido por otros autores (Menéndez *et al.*, 2000) elaborado a partir de un conjunto de información diferente. Ambos resultados sin embargo, coinciden en señalar que la parte más amenazada es la porción sur de la Península de Zapata.

La morfología de los manglares suele mostrar una relativa estabilidad. En Jamaica se demostró poca variación en área en un período de 300 años, en unidades geomorfológicas definidas, probablemente debido a una combinación de factores: pequeños cambios de marea, la



geomorfología del sistema, falta de arribo de grandes cargas de sedimentos y eventos episódicos como los huracanes ( Alleng, G. P., 1998).

Estudios sobre la mortalidad de los manglares en varias localidades (Guiana, Gambia, Costa de Marfil, Kenya, India y Bangladesh), demuestran que estos ecosistemas están tan especializados que una pequeña variación de su hidrología o régimen de marea puede causar mortalidades notables (Blasco, F. Y P. Saenger, *et al.* ,1996).

Según Ellison y Stoddart (1991) revisiones de registros estratigráficos del ecosistema de manglar durante los cambios del nivel del mar en el Holoceno muestran que las pequeñas islas serán particularmente vulnerables a la pérdida de los manglares durante el incremento del nivel del mar en los próximos 50 años. Los autores plantearon que en estas localidades el ecosistema de manglar pudiera mantenerse a niveles de incremento del mar de 8-9 cm/100 años, pero a promedios de 12 cm/100 años no persistirían. Esto sería debido a los bajos promedios de las tasas de acumulación del sedimento con fuentes externas limitadas, tales como ríos o fuentes de erosión de suelo. Otros factores que contribuyen a la persistencia de los manglares son la producción primaria del bosque, la erosión costera debido a la turbulencia profunda y más fuerte del agua y la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales.

Teniendo en cuenta algunas de las características morfofisiológicas de los manglares pudieramos suponer algunos de los cambios de la estructura de la comunidad. Por ejemplo la especie *Rhizophora mangle*, se encuentra siempre en la primera línea costera frente al mar debido a su elevada capacidad de tolerar la inundación. Sobre este tema existen diferencias de criterios, especialistas norteamericanos (Lewis, com. Personal) consideran que esta especie no es capaz de vivir en zonas inundadas permanentemente, sin embargo en Cuba y en la costa caribeña de Yucatán (Alcolado, comunicación personal y observaciones de los autores) existen numerosas zonas de manglares de cayo muy achaparrados pero en perfecto estado de salud, que viven en condiciones de inundación permanente.

En relación a sus posibilidades de éxito en condiciones de mayor inundación Ellison y Farnsworth (1997) demostraron experimentalmente que el incremento del nivel del mar resulta beneficioso para el crecimiento y desarrollo de esta especie, por lo que pudiéramos suponer que la especie *R. mangle* colonizaría las áreas inundadas formando bosques mono específicos tal como se observa en la mayoría de los cayos que rodean la isla.

El nuevo escenario también pudiera ser favorable para las comunidades marinas asociadas a las raíces de mangle rojo, ya que se incrementaría el área de sustrato libre generado por el crecimiento de las raíces aéreas de este mangle.

El resto de las especies de manglar que tienen diferentes estrategias para sobrevivir en condiciones de anoxia de los suelos, inundación y elevada salinidad, avanzaría tierra adentro ocupando los terrenos que hoy tienen otras formaciones vegetales, ya que las mareas les garantizarían su supervivencia.

Otras especies de mangle tales como *Avicennia germinans*, cuyas raíces alcanzan unos 30 cm del suelo hacia arriba, quedarían cubiertas en cualquiera de los dos escenarios probables por la altura del agua (50-100 cm), considerando incluso los cambios de marea ( $\pm 25$  cm) . En el caso de que las particularidades del suelo no fueran las adecuadas, el manglar perdería su composición natural para hacerse un manglar de borde o simplemente cayos aislados en dependencia de la formación de suelo.





Clarke y Hannon (1971) han demostrado experimentalmente y en el campo que las especies de plantas que toleran la sal cerca de Sydney, Australia, tienen tolerancias definibles y niveles óptimos bajo condiciones específicas, y que éstas pueden ser utilizadas para explicar la sectorialización por gradientes para cada especie. Otros autores también han establecido niveles experimentales óptimos para varios mangles, especialmente en relación con la salinidad (McMillan, 1971; 1974; Connor, 1969; Kylin y Gee, 1970; Cintron *et al.*, 1978; Teas, 1979; Downton, 1982; Hutchings y Saenger, 1987).

Tomando como base estos descubrimientos ecofisiológicos parece probable que con el tiempo, cada especie asuma el dominio competitivo en la zona de su preferencia. Ya sea que este dominio esté guiado por fuerzas físicas o que resulte de la competencia intraespecífica, la especie que pueda maximizar su producción fotosintética con la mayor eficiencia metabólica domina en la competencia con otras especies.

En el caso de los habitats marinos la afectación sería favorable siempre que se mantenga la línea de mangle rojo protegiendo la costa de la erosión. Si esta faltara como ocurre en la costa Sur de la Habana, la pérdida del mangle rojo ocasionaría la desaparición paulatina de la vegetación sumergida por falta de luz, con el consecuente incremento de la intrusión salina y salinización posterior de los terrenos agrícolas.

De mantenerse el mangle rojo se evitaría el incremento de sólidos en suspensión, evitando así la pérdida de las praderas de *Thalassia testudinum* y por tanto del elemento retenedor del sedimento y principal productor primario.

Los habitats terrestres sufrirían el mayor impacto debido al retroceso tierra adentro de los ecosistemas costeros por lo que para garantizar un adecuado funcionamiento del régimen hidrológico de la zona, las construcciones de viales y otras obras que pudieran interrumpir la circulación de las aguas (dulces y saladas), tales como la actual carretera del norte de la Ciénaga, deberán construirse perpendiculares a la línea de costa y nunca paralelas, lo que mitigará en algo el impacto esperado y permitirá el acomodo natural de los ecosistemas.

Estudios recientes realizados en Key Large, Florida, demostraron que un incremento de 15 cm del nivel del mar en los últimos 70 años, ha ocasionado la disminución de los bosques de Casuarina e incrementado la presencia de especies halófilas propias de los manglares (O'Brien *et al.*, 1994).

El aumento de la turbulencia en zonas costeras, acelera la erosión de la línea de costa y disminuye las probabilidades de supervivencia de los propágulos de mangle rojo; por lo que de incrementarse el azote a la zona de fenómenos meteorológicos extremos, como los huracanes, pudieran disminuir notablemente las áreas de manglares y peligrar la persistencia de la defensa física de la costa, el manglar de borde.

## CONCLUSIONES.

La tasa de incremento del nivel medio del mar en Cuba estimada a partir de mediciones directas fluctúa entre 0.005 y 0.191 cm/año en diferentes localidades debido a las diferencias que establecen a escala local los movimientos verticales de la corteza terrestre.





Se debe producir un aumento de la velocidad de las corrientes marinas en algunas zonas de la plataforma insular con consecuencias de magnitud aun no estimada para la biota y el intercambio de materia y energía tierra-plataforma-océano.

Durante el presente siglo debe disminuir la influencia que ejercen las cadenas de cayos e islotes en la plataforma insular cubana como limitantes de la circulación.

La influencia de las aguas oceánicas aumentará en proporción directa a la velocidad de las corrientes en los pasos de agua principales.

La influencia oceánica será más notable en la época de seca favorecida por las condiciones atmosféricas y meteorológicas.

Aumentará la influencia oceánica, principalmente en la parte oriental del Golfo de Batabanó.

La penetración del mar a aumentado de oeste a este en las zonas cercanas la Península de Zapata lo cual se puede apreciar también por la desaparición de lagunas costeras y extensión de las zonas pantanosas.

La inundación de la Península de Zapata debe aumentar desde el sureste primero y desde el oeste hacia el este después, con un gradual aumento de las zonas pantanosas.

La Península de Zapata puede ser afectada en más de un 60% para el año 2100 de cumplirse los escenarios de aumento del nivel medio del mar más pesimistas. Una porción importante del sur este de la península podría quedar inundado de aumentar 0.5 m para finales del siglo XXI. De esta forma, las consecuencias pueden ser serias en el primer caso para los ecosistemas terrestres, las poblaciones y la agricultura de la zona adyacente al área inundada y para los ecosistemas marinos del Golfo al crearse condiciones más favorables para una mayor exportación de material terrígeno hacia el mar, con los consecuentes cambios en las propiedades hidroquímicas de las aguas y los sedimentos y en la distribución y composición de estos últimos.

Probable incremento del área de algunos hábitats marinos como las praderas de fanerógamas y las raíces de mangle rojo sumergidas.

Posible degradación y pérdida de hábitats terrestres.

Posible desaparición de especies locales y probable incremento del número de especies amenazadas o en peligro de extinción.

Incremento del número de especies amenazadas y en peligro de extinción.

### **Conclusiones generales del trabajo.**

El aumento del nivel medio del mar se manifiesta de forma diferente en nuestro archipiélago debido a las diferencias que establecen a escala local los movimientos verticales de la corteza terrestre. Este proceso debe provocar al menos cambios en la velocidad de las corrientes marinas y la inundación paulatina de áreas bajas y transformaciones en los ecosistemas terrestres y marinos, como puede suceder en la Península de Zapata. También se deben producir afectaciones económicas que estarán relacionadas con la salinización de terrenos agrícolas y la sustitución de especies y ecosistemas por otros.

### **RECOMENDACIONES.**

Actualizar las evaluaciones multidisciplinarias del impacto del aumento del nivel medio del mar después de cada nueva evaluación del IPCC.

Realizar nivelaciones de I y II orden más cerca de la línea costera y mediciones del nivel del mar y de los movimientos verticales de la corteza terrestre mediante tecnologías de punta.

Conservar y fomentar los bosques de mangle.



## BIBLIOGRAFÍA.

- Alleng, G. P. (1998). *Historical development of the Port Royal mangrove wetland, Jamaica. Journal of Coastal Research* 14(3):951-959.
- Bacon, P. R. (1994). *Template For Evaluation of Impacts of Sea-Level Rise On Caribbean Coastal Wetlands. Ecological Engineering* 3(2):171-186.
- Blasco, F., P. Saenger, et al. (1996). Mangroves as indicators of coastal change. *Catena* 27(3-4):167-178.
- Blázquez, L. y E. Romeu (1982): *Contribución al estudio de la circulación general en el Golfo de Batabanó, Zona B. Rep. Invest., Inst. Oceanología.*, 1:1-33.
- Blázquez L. J.P. Rodríguez-Portal, I. Rosabal- Campos y R. Calderón-Hebra. (1988). *Mediciones de corriente en el Golfo de Batabanó*. Reporte de Investigación del Instituto de Oceanología No 14.
- Brown, Joan; Colling, Angela; Park, Dave; Phillips, John; Rothery, Dave and Wright, John 1989. *Ocean Circulation*.
- Clarke I. D. y N. J. Hannon (1967). *The mangrove swamp and saltmarsh communities of the Sydney district. I. Vegetation, soils and climate. J. Ecol.* 55:753-771.
- Clarke I. D. y N. J. Hannon (1971). *The mangrove swamp and saltmarsh communities of the Sydney district. The significance of species interaction. J. Ecol.* 59: 535-553.
- Coonor D. J. (1969). Growth of grey mangrove (*Avicennia marina*) in nutrient culture. *Biotrop.* 1:36-40.
- Downtown w.J.S. (1982): *Growth and osmotic relations of the mangrove Avicennia marina*, as influenced by salinity. *Aust. J. Pl. Physiol.* 9:519-528.
- Ellison, J. C. and D. R. Stoddart (1991). *Mangrove Ecosystem Collapse During Predicted Sea-Level Rise - Holocene Analogs and Implications. Journal of Coastal Research* 7(1): 151-165.
- Emilsson Y. y J.J. Tápanes (1971). Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba. *Ser. Oceanol.* 9:1-22.
- Guerman V.J. y S.P. Levikov (1988). *Análisis probabilístico y modelación de las variaciones del nivel del mar*. Edit. Hidrometeoizdat. Moscú. 229 pags.
- Gutiérrez T. y colaboradores (1999). *Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba*. Proyecto FP/CP/2200-97-12.
- Hernández M., P. Parrado y M. Izquierdo (2000a). Preliminary considerations on the probable impact of sea level rise and water temperature in some localities of the coastal zone of the Cuban archipelago. *Climate Change Impacts and Responses. Proceedings of the Conference on National Assessment Results of Climate Change. Páginas de la 183 a la 202* Edited by Nobuo Mimura. Printed by the Japan Environment Agency and Overseas Environmental Cooperation Center. 751 páginas.
- Hernández M., (2002). Informe Final del proyecto Obtención de modelos de pronóstico y de productos informáticos sobre procesos oceanográficos del océano y de la plataforma insular cubana. Archivo Científico del Instituto de Oceanología.
- Hernández M. y G. Díaz (2003a). *Some considerations about the variability of the synoptic component of the level of the sea in the Gulf of Batabanó. Serie Oceanológica.* WWW:<http://www.ceniai.inf.cu/CIENCIACUBA/oceanologia/index.html>. Vol. 1, No. 1.
- Hesse P.R. (2000). *Some differences between the soils of Rhizophora and Avicennia mangrove swamps in Sierra Leone. Plant and Soil* 14:335-346.
- Hutchings P.A. y Saenger P. (1987). *Ecology of Mangroves. Queensland University Press, St. Lucia.*
- IPCC(2001a)- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Tercer Informe de Evaluación. La base científica. Resumen para Responsables de Política y Resumen Técnico. PNUMA / OMM.
- Kylin A. Y R. Gee (1970). *Adenosin triphosphatase activities in leaves of the mangrove Avicennia nitida Jacq.: Influence of sodium to potassium ratios and salt concentrations. Pl. Physiol.* 45:169-172.
- Lluís-Riera, M. (1971): Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba. *Serie Oceanológica*. No. 9.
- Lluís-Riera, M. (1972). *Estudios hidrológicos del Golfo de Batabanó y de las aguas oceánicas adyacentes*. Ser. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. 14,1-49.
- Lluís-Riera, M. (1977). Estudios hidrológicos de la plataforma Suroriental de Cuba y aguas oceánicas adyacentes. *Inf. Cient.-Téc. Inst. Oceanología . Acad. Cienc. Cuba.* 16,1-29.
- Lluís-Riera, M. (1981a). Condiciones hidrológicas de la plataforma Nororiental de Cuba en febrero de 1976. *Inf. Cient.-Téc. Inst. Oceanología . Acad. Cienc. Cuba.* 161: 1-32.



- Lluis-Riera, M. (1981b). Informe de datos oceanográficos de la plataforma Suroriental de Cuba y aguas oceánicas adyacentes. Edit. Academia. 141 pp, 42 figs.
- Lluis-Riera, M.(1983a). *Estudios hidrológicos de la plataforma Noroccidental de Cuba (Zona C)*. Edit. Academia. Rep. Inv. Inst. de Oceanología. 13: 1 -48.
- Lluis-Riera, M.(1983b). Características físico químicas de la plataforma de Cuba y aguas oceánicas adyacentes [en Ruso]. *Informacionni Bulletin*, Centro de coordinación del CAME para el problema mundial, Moscú 15:29-45p
- Lluis-Riera, M.(1983c). Régimen hidrológico de la plataforma insular de Cuba. Cienc. Tierra y el Espacio. 7:81-110.
- Lluis-Riera, M.(1984). Estudios hidrológicos de la plataforma Nororiental de Cuba (Zona D).Edit. Academia. 44 pp, 17 figs.
- McMillan C. (1971). *Environmental factors affecting seedling establishment of the black mangrove on the central Texas coast*. *Ecology* 52:927-930.
- McMillan C. (1974). Salt tolerance of mangroves and submerged aquatic plants. En: pp. 379-390. R. J. Reinold y W.H. Queen (eds.) *Ecology of Halophytes*. Academic Press, New York.
- Mitrani I., I. Salas, Ballester M. Juantorena Y. (2001). Inundaciones por sures en las costas del golfo de Batabanó, con escenario actual y previstos por posible incremento del nivel medio del mar. V Congreso de Ciencias del Mar. La Habana. Cuba.
- Mitrani I., Pérez Parrado R., Juantorena Y., Salas I., García O., Ballester M., Beauballet P., Rodríguez C., Pérez A. L. (2000). Las Penetraciones del mar en las costas de Cuba, las zonas más expuestas y su sensibilidad al cambio climático" Informe de Resultado Científico, INSMET-IPF, La Habana, 102 pag.
- Moreno, A. , R. Pérez, G. Omar, P. Miguel, I. Salas, I. Mitrani, R. Casals, A. Pérez, C. Rodríguez, J. Peguero, J. Guerra, M. Hernández, J. Simanca, J. Batista y M. Sánchez (1997). Development of the Forecast Techniques of the Coastal Floods. Prevention and Reduction of their Destructive Action". Final Report of the project of the same title. PNUD 1997. 172 pp. Mapas, figuras y tablas en anexos. Archivo Científico de los institutos de Meteorología y Oceanología.
- Naidoo G. (1980). Mangrove soils of the Beachwood Area, Durban. *JL. S. Afr. Biol.* 46:293-304.
- Ogden J.C. (1982). *Coral reefs, seagrass beds and mangroves: Their interaction in the coastal zones of the Caribbean*. *Unesco Reports in Marine Sciences*. 1-113.
- Rodríguez J. y J. Rodríguez (1983): Las mareas en las costas cubanas. Rep. Inv. No. 6. Enero.
- Saenger, P. *et al.* (1996). *Mangroves as indicators of coastal change*. *Catena* 27(3-4):167-178.
- UMA, (1997). Propuesta de la Ciénaga de Zapata como Reserva de la Biosfera. Agenacia de Medio Ambiente de Cuba, CITMA, La Habana. 1-25.
- Victoria I.R., M.G. Hernández, L. F. Rodas, J.C. Simanca y otros (1990). Características Oceanográficas de la Fosa de Jagua y de la Zona Económica Exclusiva al Sur de Cuba. Informe Final de Tema. Archivo Científico del Instituto de Oceanología.



## SEDIMENTOS DE LAS PLAYAS INTERIORES DE CUBA

**Ernesto Tristá Barrera, Roberto Guerra García, José Luis Juanes Martí, Kenia Hernández Valdés, Lourdes Rivas**

*Instituto de Oceanología, Ave 1ra No. 18406 Repto Flores, Playa, Ciudad Habana. E-mail: trista@oceano.inf.cu.*

### RESUMEN

A pesar de que las playas interiores se encuentran protegidas del oleaje oceánico, están siendo afectadas por los procesos de erosión, manifestándose como un fenómeno generalizado. Como parte del inventario de este grupo de playas del país, se obtuvieron muestras de sedimentos en 25 de ellas, lo que permitió definir la génesis y composición agrupadas en diferentes patrones sedimentarios, ubicados en un mapa geo-referenciado del archipiélago cubano. En las playas interiores se encontró una variada composición y génesis de los sedimentos, ya que en su formación intervienen materiales de dos grandes fuentes sedimentarias, la producción de biocomponentes marinos de diversa naturaleza y la influencia terrígena de las zonas emergidas. Los principales biocomponentes identificados son: algas calcáreas, moluscos y foraminíferos y los elementos terrígenos: leucoceno, circón, epidota, cuarzo y litoclastos calcáreos. A diferencia de las playas expuestas a la influencia del oleaje oceánico, las características morfológicas y la génesis de las partículas que componen los sedimentos de las playas interiores ponen en evidencia, por un lado el débil hidrodinamismo de las aguas y por otro un paulatino proceso de invasión marina hacia territorios emergidos, detectado a través de la aparición de elementos pertenecientes a estadios sedimentarios pasados bajo la acción de la erosión costera. Las principales características de los biocomponentes y los elementos terrígenos, permiten distinguir que 12 de las playas son biogénicas, 10 terrígenas y 3 biogénica-terrígena, lo que marca una predominancia de los biocomponentes en los sedimentos de las playas interiores, con una significativa presencia de elementos terrígenos.

### ABSTRACT

Although the interior beaches are protected from the oceanic wave, they are being affected by the processes of erosion, showing as a widespread phenomenon. As part of the inventory, samples were obtained of sediment in 25 of them, what allowed to define the genesis and composition contained in different sedimentary patterns, located in a geo-referenced map of the Cuban archipelago. In the inner beaches was found a varied composition and genesis of the sediments, since in their formation materials intervene of two big sedimentary sources, the production of marine biocomponents of diverse nature and the influence terrigenous of the upland areas. The main identified biocomponents are: calcareous algae, mollusks and foraminifera and the elements terrigenous: leucoceno, zircon, epidote, quartz and calcareous lithoclastic. Contrary to the exposed beaches to the influence of the oceanic wave, the morphological characteristics and the genesis of the particles that compose the sediment they put in evidence, on one hand the weak hydrodynamic of the waters and for other a gradual process of marine invasion toward upland territories, detected through the appearance of elements belonging to stadium sedimentary past under the action of the coastal erosion. The main characteristics of the biocomponents and the elements terrigenous, they allow to distinguish that 12 of the beaches are biogenic, 10 terrigenous and 3 biogenic-terrigenous, what marks a predominance of the biocomponents in the sediments of the inner beaches, with a significant presence of elements terrigenous.

## INTRODUCCION

Las playas interiores del Archipiélago Cubano constituyen, en su mayoría, una importante opción recreativa para nuestra población, ubicándose en ellas numerosos asentamientos humanos, lo que les concede una alta significación social.

En contraste con este nivel de uso, estas regiones costeras están siendo afectadas por intensos procesos de erosión, donde la línea de costa retrocede a un ritmo de 1 a 2 m/año y en algunos sitios hasta 3 m/año, incluso en aquellas playas donde no existen acciones antrópicas. En la actualidad, gran parte de las comunidades costeras muestran evidentes daños como resultado de la acción de los procesos de erosión.

Los procesos de erosión que actualmente se producen en las playas cubanas, se han convertido en el principal agente destructivo de sus condiciones naturales, con una progresiva afectación a la explotación turística que alrededor de ellas se desarrolla. En el caso de las playas interiores el efecto de este fenómeno alcanza niveles notables, a pesar de encontrarse localizadas frente a extensas áreas de bajos fondos y protegidas del oleaje oceánico por el cordón de cayos que delimitan la plataforma insular cubana.

El inventario de las playas interiores de Cuba (Tristá, 1997), concebido especialmente para su caracterización morfodinámica y sedimentológica dirigida a la interpretación de las causas y magnitud de los procesos de erosión, encierra una información novedosa y necesaria, tanto por el conocimiento científico que aporta referente a nuestras playas, como por el valor metodológico.

Como antecedentes en el estudio de las regiones costeras donde se ubican las playas interiores se destacan los numerosos estudios realizados en la plataforma insular y la franja costera del Archipiélago Cubano, fundamentalmente con un carácter geológico y sedimentológico.

Una síntesis de los trabajos realizados en nuestra plataforma insular aparece en la monografía "Geología de la Plataforma de Cuba" (Ionin *et al.* 1977). La monografía, basada en los resultados de expediciones conjuntas entre la Academia de Ciencias de la URSS y la Academia de Ciencias de Cuba y numerosos trabajos de especialistas norteamericanos, abarca las investigaciones de la geología de los golfos de Batabanó, Ana María, Guacanayabo, prácticamente todo el subarchipiélago Sabana Camagüey y las plataformas norte y sur de Pinar del Río, justamente las regiones donde se ubican las playas objeto de estudio.

Ionin *et al.* (1977) establecen los esquemas de distribución de los tipos de sedimentos en las zonas más importantes de la plataforma submarina cubana de acuerdo a su génesis y composición, haciendo uso de los parámetros granulométricos, el contenido de carbonatos, carbono orgánico, hierro y titanio, así como los restos calcáreos de organismos bentónicos. Esta información resulta básica junto a la obtenida en el inventario de las playas interiores para describir sus particularidades geomorfológicas y sedimentológicas en correspondencia con su ubicación geográfica, conocer la extensión, la intensidad y las causas del proceso erosivo, así como valorar las medidas normativas e ingenieras para la protección y recuperación de estos sectores costeros.





## MATERIALES Y METODOS

La recopilación de la información referente a las playas interiores, se obtuvo a través de la realización de un inventario de campo, donde se registran sus características principales.

Como parte del inventario de campo, se colectaron muestras de sedimentos en la anteplaya y en la pendiente submarina, se distinguió en el terreno el tipo de sedimento que forma la playa, o sea si es arenoso, fangoso o la combinación de ambos y se identificó el color del mismo. En el laboratorio, a través del procesamiento granulométrico del sedimento colectado aplicando el método seco y semihúmedo (Petelin, 1967), se obtuvo su diámetro medio (Md) y el coeficiente de clasificación (So), el cual es un indicador de la dispersión de las fracciones granulométricas con respecto al tamaño medio de las partículas del sedimento.

El principio de clasificación de los sedimentos marinos se basó en la metodología elaborada por Besrukov y Lisitssin (1960) en el Instituto de Oceanología de la Academia de Ciencias de la URSS, mejorada por Neveski (1967), donde se establecen las respectivas categorías de Grava, Arena, Aleurita y Limo, así como las subdivisiones en Gruesa, Media y Fina.

Los valores de **Md** y **So** se obtuvieron a través del programa Text versión 1.1, elaborado en el Departamento de Procesos Costeros del Instituto de Oceanología.

La actividad dinámica a que están sometidos los sedimentos en la zona costera propician la ocurrencia de una alta variabilidad en la selección del material, donde convergen sedimentos de diferente naturaleza y génesis. Por esta razón, la clasificación de Besrukov y Lisitssin (1960) no se utilizó mecánicamente, ya que se corría el riesgo de que bajo una misma terminología pudieran quedar clasificados dos y más tipos texturales de sedimentos.

Es por ello que para el análisis de los sedimentos de las playas interiores, además de considerar el valor y significado de los parámetros **Md** y **So**, se empleó el método de clasificación de Lixt (1985), el cual distingue con mayor precisión el contenido de las tres componentes fundamentales del sedimento: Arena, Aleurita y Arcilla.

El análisis de la composición del sedimento se hizo mediante el conteo al microscopio de los restos orgánicos (moluscos, algas calcáreas, foraminíferos y otros grupos de organismos marinos) e inorgánicos (fragmentos de rocas y minerales), estableciéndose las diferentes cantidades en porcentaje, lo que permitió determinar la génesis del sedimento de cada playa, según describen Pavlidis y Avello (1975).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La plataforma insular cubana se encuentra bordeada casi en toda su extensión por arrecifes coralinos y por un gran número de cayos, los que se diferencian tanto por su génesis como por su estructura geológica.

Desde un punto de vista geológico, tectónico y geomorfológico, puede considerarse la plataforma insular como un área única dividida en cuatro regiones, que se distinguen de acuerdo a su posición geográfica respecto a la isla principal: Plataforma Noroccidental,



Nororiental, Suroccidental y Suroriental, aunque también se denominan Golfo de Guanahacabibes, Archipiélago Sabana-Camagüey, Golfo de Batabanó y Golfos de Ana María y Guacanayabo. Las aguas que encierran estas regiones de la plataforma insular cubana, son las que bañan las costas de las playas interiores.

De acuerdo a los resultados del análisis de las muestras de sedimentos tomadas en 25 de las playas interiores inventariadas (Tabla I), se define la génesis y composición de cada una de ellas agrupadas en diferentes patrones sedimentarios, los que aparecen distribuidos geográficamente en el mapa de la Figura 1.

Tabla I. Clasificación granulométrica de las muestras de sedimentos de 25 playas interiores.

PLAYA	Md (mm)	So	CLASIFICACIÓN
Bailén	0.23	1.41	Arena fina bien clasificada
Galafre	0.52	3.9	Arena gruesa mal clasificada
Las Canas Sur	0.33	1.52	Arena media bien clasificada
Majana	0.11	3.25	Limo areno aleurítico mal clasificada
Guanímar	0.05	1.36	Limo aleurítico bien clasificado
Cajío	0.05	1.25	Limo aleurítico bien clasificado
Surgidero	0.76	1.49	Arena gruesa bien clasificada
Mayabeque	1.29	1.35	Arena gruesa bien clasificada
Rosario	0.51	1.8	Arena gruesa bien clasificada
La Pepilla	1.35	1.49	Arena gruesa bien clasificada
Caimito	0.81	1.63	Arena gruesa bien clasificada
Palo Alto	0.5	3.3	Arena gruesa mal clasificada
Florida	0.52	3.53	Arena gruesa mal clasificada
Jigüey	0.7	2.1	Arena gruesa medianamente clasificada
Cunagua	0.72	2.8	Arena gruesa medianamente clasificada
La Tinaja	0.44	1.19	Arena media bien clasificada
Pta. Alegre	0.62	1.55	Arena gruesa bien clasificada
Caibarién	0.58	1.63	Arena gruesa bien clasificada
Cayo Conuco	0.69	1.52	Arena gruesa bien clasificada
El Salto-Ganuza	0.8	1.32	Arena gruesa bien clasificada
Santa María	0.22	1.42	Arena fina bien clasificada
Río Blanco	0.16	1.39	Arena fina bien clasificada
Río del Medio	0.21	1.5	Arena fina bien clasificada
Las Canas Norte	0.34	1.24	Arena media bien clasificada
Pta. Colorada	0.38	1.44	Arena media bien clasificada

En las playas interiores de Cuba se encontró una variada gama de la composición y génesis de los sedimentos, ya que en su formación intervienen materiales de dos grandes fuentes sedimentarias, la producción de biocomponentes marinos de diversa naturaleza y la influencia terrígena de las zonas emergidas. Esta última estrechamente relacionada con la compleja constitución geólogo-geomorfológica del Archipiélago Cubano.

A diferencia de las playas expuestas a la influencia del oleaje oceánico, las características morfológicas y la génesis de las partículas que componen los sedimentos de las playas interiores ponen en evidencia, por un lado el débil hidrodinamismo de las aguas y por otro un paulatino proceso de invasión marina hacia territorios emergidos, detectado a través de la aparición de elementos pertenecientes a estadios sedimentarios pasados bajo la acción de la erosión costera.

En la Tabla II aparecen las principales características de los biocomponentes y los elementos terrígenos que componen el material sedimentario de las 25 playas muestreadas, así como su génesis. Donde se distingue que 12 de ellas son biogénicas, 10 terrígenas y 3 biogénica-terrígena, lo que marca una predominancia de los biocomponentes en los sedimentos de las playas interiores, con una significativa presencia de elementos terrígenos.

Tabla II. Composición y génesis de los sedimentos de 25 playas interiores.

PLAYA	BIOCOMPONENTES	ELEMENTOS TERRÍGENOS	GÉNESIS
Bailen	No existen	Leucoceno, circón, epidota y cuarzo	Terrígena
Galafre	No existen	Cuarzo, Leucoceno, circón y algunos litoclastos calcáreos	Terrígena
Las Canas Sur	No existen	Cuarzo, litoclastos calcáreos, circón y epidota	Terrígena
Majana	Abundantes moluscos y foraminíferos	No existen	Biogénica
Guanímar	Abundantes foraminíferos	No existen	Biogénica
Cajío	Abundantes foraminíferos	No existen	Biogénica
Surgidero	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
Mayabeque	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
Rosario	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
La Pepilla	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
Caimito	Abundantes moluscos	No existen	Biogénica
Palo Alto	No existen	Cuarzo, Leucoceno, circón y algunos litoclastos calcáreos	Terrígena
Florida	Muy escasos	Cuarzo, epidota y circón	Terrígena
Jigüey	Abundantes moluscos	Muy escasos	Biogénica
Cunagua	Abundantes moluscos y algunos foraminíferos	No existen	Biogénica
La Tinaja	Abundantes foraminíferos	No existen	Biogénica
Pta. Alegre	Abundantes Moluscos	Litoclastos calcáreos y cuarzo	Biogénica y Terrígena
Caibarién	Abundantes algas calcáreas	No existen	Biogénica
Cayo Conuco	Abundantes Moluscos	Litoclastos calcáreos	Biogénica y Terrígena
El Salto-Ganuzá	Abundantes moluscos y foraminíferos	Cuarzo	Biogénica y Terrígena
Santa María	Muy escasos	Cuarzo, epidota y otros silicatos	Terrígena
Río Blanco	Muy escasos	Cuarzo, circón, epidota y litoclasto calcáreos	Terrígena
Río del Medio	No existen	Cuarzo, epidota y otros silicatos	Terrígena
Las Canas Norte	No existen	Abundante cuarzo	Terrígena
Pta. Colorada	No existen	Cuarzo Circón y Epidota	Terrígena

A continuación se describen los patrones sedimentarios que aparecen distribuidos en las playas interiores inventariadas (Fig. 1), de acuerdo a los resultados del análisis de las muestras colectadas en cuanto a su génesis y composición.

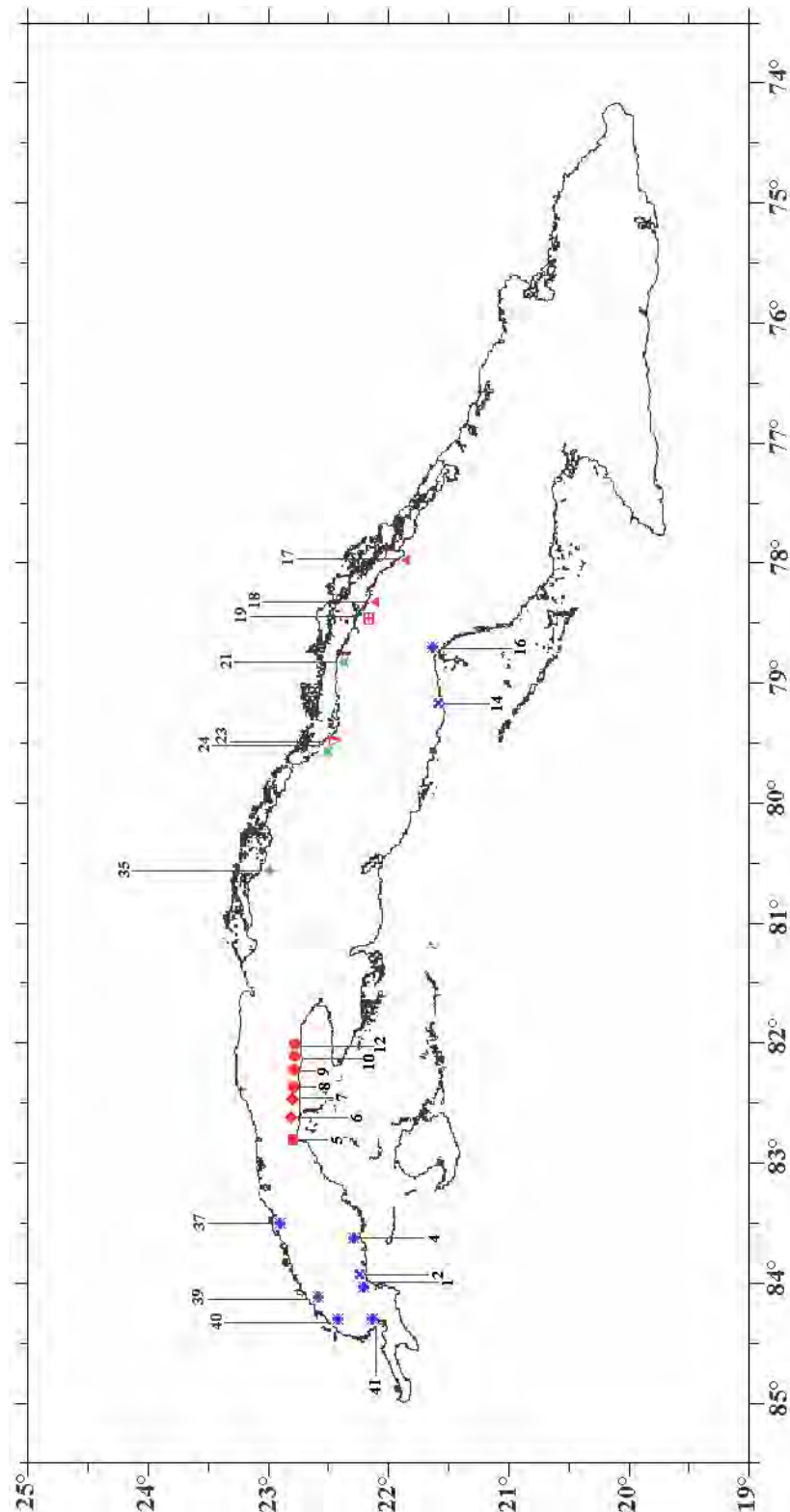


Figura 1. Mapa de distribución de los patrones sedimentarios de las playas interiores

## SIMBOLOGIA

### Génesis

- Biogénica
- Terrígena
- Biogénica-Terrígena

### Composición

- Arena gruesa, bien clasificada, carbonatada con abundante contenido de moluscos
- ▲ Arena gruesa, medianamente clasificada, carbonatada con abundante contenido de moluscos
- ▽ Arena gruesa, bien clasificada, carbonatada con abundante contenido de algas calcáreas
- Arena gruesa, bien clasificada, medianamente carbonatada con abundante contenido de moluscos y foraminíferos, incluido el cuarzo
- ★ Arena gruesa, bien clasificada, carbonatada con abundante contenido de moluscos y litoclastos calcáreos
- × Arena gruesa, mal clasificada, terrígena con abundante contenido de cuarzo y minerales pesados del grupo circón, epidota y leucoceno
- ⊞ Arena media, bien clasificada, carbonatada con abundante contenido de foraminíferos
- ✱ Arena fina y media, bien clasificada, terrígena con abundante contenido de cuarzo y algunos minerales del grupo circón y epidota
- Limo arenoso aleurítico, mal clasificado, carbonatado con abundante contenido de moluscos y foraminíferos
- ◆ Limo aleurítico, bien clasificado, carbonatado con abundante contenido de foraminíferos

### Playas donde se tomaron muestras de sedimento

- 1 Bailén
- 2 Galafre
- 4 Las Canas Sur
- 5 Majana
- 6 Guanímar
- 7 Cajío
- 8 Surgidero
- 9 Mayabeque
- 10 Rosario
- 11 La Pepilla
- 12 Caimito
- 14 Palo Alto
- 16 Florida
- 17 Jigüey
- 18 Cubagua
- 19 Tinaja
- 21 Punta Alegre
- 23 Caibarién
- 24 Cayo Conuco
- 35 Salto-Ganuzo
- 36 Santa María
- 37 Río Blanco
- 39 Río del Medio
- 40 Las Canas Norte
- 41 Punta Colorada

**a) Arena Gruesa, Bien Clasificada, carbonatada con abundante contenido de moluscos. Biogénica.**

Este grupo se encuentra en la parte central y oriental de la costa sur de la provincia de la Habana, en las playas Surgidero, Mayabeque, Rosario, La Pepilla y Caimito (Fig. 1). Las que conforman una costa baja de origen denudativo y en partes aluvial, según Ionin, *et al.* (1977).

Los sedimentos están formados por arena gruesa biodetrítica, de color amarillo carmelitoso con abundante contenido de moluscos principalmente bivalvos (pelecípodos) y en menor cantidad gasterópodos. Los fragmentos de moluscos presentan paredes finas y bordes angulosos, con una coloración negruzca que responde a estadios de elevada maduración sedimentaria.

Tomando en cuenta que la clasificación del sedimento es buena, lo anteriormente expuesto podría ser el resultado de un proceso de cambio incipiente en el que se mezclan sedimentos jóvenes con elementos más antiguos redepositados en la parte emergida del litoral.

**b) Arena Gruesa, Medianamente Clasificada, carbonatada, con abundante contenido de moluscos. Biogénica.**

Este grupo se localiza en la bahía de Jigüey en la costa norte del archipiélago cubano, particularmente en las playas Cunagua y Jigüey (Fig. 1). En este territorio se conforman dos tipos de costa: una aplanada acumulativa de laguna y otra abrasivo-acumulativa, según Ionin, *et al.* (1977).

En general estos depósitos están formados por arena gruesa de color gris negruzco, con un predominio de moluscos bivalvos y algunos foraminíferos. La fracción de arena fina presenta un elevado contenido de partículas de color negro de origen orgánico y otros bioclastos cuyas superficies están impregnadas con esta misma coloración. Las conchas de moluscos muestran signos de envejecimiento reflejado por la pérdida de su microrelieve y brillo, así como la aparición de perforaciones.

Por otra parte existen indicios de mezcla de elementos marinos recientes con materiales lacustres y pequeños fragmentos de rocas más antiguas provenientes de zonas emergidas, estas últimas en menor cantidad.

**c) Arena Gruesa, Bien Clasificada, carbonatada con abundante contenido de algas calcáreas. Biogénicas.**

Este grupo se encuentra en la costa norte y central de Cuba, específicamente en la playa de Caibarién (Fig. 1). Sus depósitos están formados por arena gruesa de color blanco con una buena clasificación, representados fundamentalmente por algas calcáreas (Halimedes) y un contenido mucho menor de moluscos.

Los sedimentos que forman esta playa yacen en una costa acumulativa de manglar con pendientes muy suaves (Ionin, *et al.* 1977).

Los granos del sedimento están fuertemente erodados, su superficie presenta aspecto lechoso y sin brillo. Entre los bioclastos no se observa ningún ejemplar juvenil, por el



contrario, los detritos de moluscos están considerablemente alterados con un alto nivel de desgaste. Puede inferirse que los bioclastos han estado expuestos a un prolongado proceso de redeposición y una baja bioproductividad sedimentaria, lo que puede estar relacionado con la erosión de los depósitos litorales más antiguos.

**d) Arena Gruesa, Bien Clasificada, medianamente carbonatada, con abundante contenido de moluscos y foraminíferos, incluido el cuarzo. Biogénica-Terrígena.**

Este tipo de sedimento se encuentra en el litoral norte del municipio de Corralillo, provincia de Villa Clara, en la playa El Salto-Ganuza (Fig. 1), formado por arena de grano grueso de color blanco bien clasificada. Estos sedimentos yacen en una costa aplanada acumulativa y de laguna (Ionin, *et al.* 1977).

Aunque el sedimento está compuesto predominantemente por biocomponentes marinos, aparece un significativo número de silicatos encabezados por el cuarzo. Entre los biocomponentes se encuentran los moluscos bivalvos en mayor cantidad, seguidos en orden de importancia por los foraminíferos, en particular los aporcelanados. Los moluscos muestran una gran fragmentación de sus conchas y sus aristas son subangulosas. Por su parte el cuarzo, como mineral ligero fundamental, presenta buena redondez de sus granos y brillo vítreo. Si bien el material carbonatado muestra signos de transportación poco significativos, el material terrígeno sí refleja un marcado rodamiento de sus granos.

**e) Arena Gruesa, Bien Clasificada, carbonatada con abundante contenido de moluscos y litoclastos calcáreos. Biogénica-Terrígena.**

Este grupo se localiza en el litoral norte y central del territorio cubano en las playas de Cayo Conuco y Punta Alegre (Fig. 1). Las que aparecen en costas biogénicas acumulativas de manglar y en costas abrasivo-acumulativas respectivamente, según Ionin, *et al.* (1977).

Los sedimentos están formados esencialmente por arena gruesa, con buena clasificación y de color carmelita blanquecino. Su composición es compartida, aproximadamente a partes iguales entre bioclastos de moluscos bivalvos y litoclastos de rocas carbonatadas.

A juzgar por el grado de rodamiento de los granos, cuyas aristas son por lo general algo angulosas, las condiciones hidrodinámicas parecen ser pasivas y la fuente terrígena debe encontrarse próxima al litoral.

**f) Arena Gruesa, Mal Clasificada, terrígena con abundante contenido de cuarzo y minerales pesados del grupo circón, epidota y leucoceno. Terrígena.**

Este grupo se sitúa en tres playas de la costa sur del archipiélago cubano: Galafre en Pinar del Río, Palo Alto en Ciego de Avila y playa Florida, en Camagüey (Fig. 1). Los sedimentos de estas playas yacen en una costa aplanada acumulativa de laguna y manglar, según Ionin, *et al.* (1977) y están formados por arena gruesa no carbonatada con mala clasificación, dada la presencia de una grava cuarzosa en una matriz arenosa. Su color varía entre carmelita rosado y gris blanco en dependencia de la tonalidad de los fragmentos de cuarzo.

En la formación de estas playas ha tenido una activa participación la fuente terrígena, no solo por la presencia de fragmentos de cuarzo, sino también por la abundancia de





algunos minerales pesados, los que muestran formas esféricas. Solo en la playa de Palo Alto se detectaron algunos bioclastos de moluscos pero en muy reducido número.

**g) Arena Media, Bien Clasificada, carbonatada con abundante contenido de foraminíferos. Biogénica.**

Este tipo de sedimento se encuentra en la playa La Tinaja, en la costa norte de Ciego de Avila (Fig. 1), conformando, según Ionin, *et al.* (1977), una costa aplanada acumulativa de laguna y de muy poca pendiente.

Los sedimentos están formados por arena carbonatada de grano medio con buena clasificación, de color gris claro y constituidos, prácticamente en su totalidad, por testas de foraminíferos fundamentalmente aporcelanados, lo cual es un indicador de la alta disponibilidad de carbonato de calcio que existe en esta zona.

Por lo general la superficie de los bioclastos se encuentra sin brillo y muy alterada, lo que impide su reconocimiento. En algunos casos sus testas presentan coloración negruzca adquirida por procesos químicos secundarios en ambientes de poca actividad hidrodinámica. Se aprecian además, pequeños fragmentos de moluscos pero en muy reducida cantidad, con una pobre renovación y elevada madurez sedimentaria.

**h) Arena Fina y Media, Bien Clasificada, terrígena con abundante contenido de cuarzo y algunos minerales del grupo circón y epidota. Terrígena.**

Este tipo de sedimento aparece en las playas Punta Colorada, Las Canas, Río del Medio, Río Blanco y Santa María en la costa norte de la provincia de Pinar del Río y en Bailén y Las Canas, en la costa sur de Pinar del Río (Fig. 1). Los sedimentos de las playas del litoral norte de Pinar del Río, yacen en una costa acumulativa de manglar, mientras los que se encuentran en el extremo suroccidental de esta provincia, descansan en una costa acumulativa de laguna, según Ionin, *et al.* (1977).

El material sedimentario está desprovisto de bioclastos calcáreos, constituido casi totalmente por cuarzo y algunos minerales pesados del grupo de la epidota y el circón. En estos sedimentos predominan los colores pardo, gris y blanco con tonos muy claros.

Los sedimentos que constituyen las playas de la costa suroccidental de Pinar del Río, son el resultado del lavado de los depósitos aluviales de los ríos Cuyaguatzeje y San Juan y Martínez, cuyas aguas arrastran en su curso fragmentos de rocas de la corteza de intemperismo del anticlinorio de Pinar del Río, existiendo una fuerte correspondencia entre la composición mineralógica de las fuentes terrígenas y la composición mineralógica de estas playas (Vasiliev, 1975).

En la formación de los sedimentos de las playas del litoral noroccidental de Pinar del Río, intervienen también materiales aluviales provenientes del lavado de las rocas del complejo ultrabásico, básico y de rocas metamórficas de la llanura ondulada costera de esta región del país. La arena de las playas que allí se ubican tienen un elevado contenido de cuarzo, característico de la subfracción ligera del material depositado y en menor cantidad presentan algunos minerales pesados como la epidota y el leucoceno. A pesar de que las aristas de estos minerales muestran signos de transporte, la desproporción numérica de los minerales pesados respecto al cuarzo, constituye una señal del pobre hidrodinamismo de las aguas.



En playa Florida, a diferencia de las playas del occidente de Cuba, los granos muestran mayor actividad litodinámica, con una marcada redondez y un mayor contenido de minerales pesados como el circón.

**i) Limo Areno Aleurítico, Mal Clasificado, carbonatado con abundante contenido de moluscos y foraminíferos. Biogénico .**

Este tipo de sedimento se encuentra en la costa suroccidental de la provincia La Habana, en playa Majana, (Fig. 1). Los que conforman una costa aplanada acumulativa de muy baja pendiente, según Ionin, et al. (1977).

Los sedimentos están formados por un gran número de biodetritos con una textura limo arenosa en las fracciones más finas, mientras la fracción arenosa está representada por un material detrítico de moluscos bivalvos de paredes muy finas, encontrándose también algunas especies de foraminíferos bentónicos.

Se observa además en las partículas del sedimento una pigmentación negruzca en muchas de las conchas, además de un elevado grado de fragmentación y angulosidad, reflejo de un ambiente litodinámico pasivo.

**j) Limo Aleurítico, Bien Clasificado, carbonatado, con abundante contenido de foraminíferos. Biogénico.**

Este tipo de sedimento se ubica en la costa suroccidental de la provincia La Habana, en las playas Guanímar y Cajío (Fig. 1) y yacen, según Ionin, et al. (1977), en una costa aplanada acumulativa y de manglar, con pendientes muy suaves.

Los sedimentos están formados por limos muy finos, aleuríticos con buena clasificación, su coloración varía desde gris oscuro hasta carmelita claro.

La presencia del sistema de cayos Las Cayamas próximo a las playas Guanímar y Cajío, con una densa población de manglar y bajas profundidades de la pendiente submarina que rodean a los mismos, favorecen la acumulación de sedimentos muy finos con un alto contenido de materia orgánica y una elevada uniformidad en su textura, lo cual responde a condiciones hidrodinámicas de baja energía.

De acuerdo a las características de los sedimentos de las playas interiores, puede sintetizarse que los mismos presentan una heterogeneidad textural determinada por más de una fuente sedimentaria y además un bajo nivel de erosión de las partículas, lo cual es un indicador de que el régimen hidrodinámico imperante es de baja energía.

## CONCLUSIONES

1. Las playas interiores se distinguen por su protección frente al embate directo del oleaje oceánico, lo cual contribuye a que los procesos dinámicos que las modifican sean menos rigurosos que los que se producen en las playas abiertas. Sin embargo en las 41 playas inventariadas están presentes con mayor o menor intensidad los efectos de la erosión, manifestándose como un fenómeno generalizado.
2. Las playas interiores se caracterizan por presentar pendientes suaves y regulares las que, combinadas con la existencia de un reducido fetch, contribuyen a minimizar la



generación de sistemas de oleaje de alta energía. Además los sedimentos que constituyen estas playas son predominantemente biogénicos, interviniendo en su formación dos grandes fuentes sedimentarias, la producción de biocomponentes marinos de diversa naturaleza y la influencia terrígena de las zonas emergidas.

## BIBLIOGRAFIA

Besrukov, P. L. y Lisitssin, A. P. 1960. Clasificación de los sedimentos recientes marinos. Editorial Nauka. URSS.

Ionin, A. S., Pavlidis, Y. y Avello, O. 1977. Geología de la Plataforma de Cuba. Editorial Nauka, URSS. (en ruso)

Lixt, F.P., Lerkachev A. N., Markov Y. D., Utkin Y. B. 1985. Tipificación litólogo-facial de la sedimentogénesis del mar de Japón (en ruso). Litología y minerales útiles, No. 4. 25-35 pp.

Neveski, E. N. 1967. Procesos sedimentarios en la zona litoral. Edit. Nauka, Moscú. 260 pp.

Pavlidis, Y.A., Avello, O. 1975. Sedimentos de la plataforma cubana. I. Golfo de Guanahacabibes. Serie Oceanológica No 30, 1-17 pp.

Petelin, V. D. 1967. Análisis granulométricos de los sedimentos marinos de fondo. Edit. Nauka, Moscú. 5 págs. (en ruso).

Tristá, E. y Salazar H. 1997. Inventario de las playas interiores de Cuba. Informe Técnico, Instituto de Oceanología. 160 p.

Vasiliev, V. P., Kasakova, V. P. y Pavlidis Y. 1975. Mineralogía de los depósitos de playas de la isla de Cuba.. Litología y Productos fósiles. Akademia Nauk, Moscú, 2. 27-32. pp (en ruso).



## MAPA A ESCALA 1: 100 000 DE LOS DEPÓSITOS PLIOCUATERNARIOS DE LA ISLA DE LA JUVENTUD.

**Roberto A. Denis<sup>(1)</sup>, Leandro L. Peñalver<sup>(2)</sup>, Miguel Cabrera<sup>(2)</sup>, Carlos M. Pérez<sup>(2)</sup>, Ramón Rérez<sup>(2)</sup>, Raúl García<sup>(3)</sup>.**

(1) Empresa Geominera Pinar del Río, Martí No. 141, Pinar del Río CP 20100.

(2) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Prolongación Carr. Central. Ciudad de La Habana.

(3) Delegación Territorial CITMA Isla de la Juventud.

### RESUMEN

Los depósitos cuaternarios ocupan un por ciento considerable del territorio de la Isla de la Juventud; sin embargo en gran parte de las investigaciones geológicas realizadas en ese municipio sólo se mencionan en párrafos lacónicos. Otros casos constituyen importantes aportes al tema pero necesitaban aclarar algunos aspectos, generalizar resultados o una escala más detallada de los trabajos. Es por ello que se lleva a cabo la Cartografía de los Depósitos Pliocuaturnarios de la Isla de la Juventud a escala 1: 100 000, como continuación de las investigaciones para completar la cartografía geológica nacional a igual escala, con el Instituto de Geología y Paleontología como institución responsable y con la participación, en este caso, de la Empresa Geominera de Pinar del Río.

Sobre la base de la revisión bibliográfica; la fotointerpretación; itinerarios de campo, que incluyeron la visita a localidades descritas en trabajos precedentes; determinaciones petrográficas y paleontológicas (para hacer precisiones petrográficas y del ambiente de sedimentación); así como el empleo de los canales 1, 4 y 5 de la imagen LANDSAT 7, compuesta a falso color, se obtuvieron un conjunto de importantes resultados de los cuales el principal es la confección del primer mapa geológico a escala 1: 100 000 de los depósitos pliocuaturnarios para todo el territorio.

### ABSTRACT

The quaternary deposits occupy a considerable percent of the territory of the Isla de la Juventud; nevertheless in the most of the geologic investigations made in that municipality they are only mentioned in laconic paragraphs. Other cases constitute important contributions to the subject but they needed to clarify some aspects, to generalize results or one more a detailed scale of the works. It is for that reason that is carried out the Cartography of the Pliocuaturnary Deposits of the Isla de la Juventud on scale 1: 100 000, like continuation of the investigations to complete the national geologic cartography on equal scale, with the Institute of Geology and Paleontology like responsible institution and with the participation, in this case, of the Empresa Geominera de Pinar del Río.

On the base of the bibliographical revision; the photo-interpretation; field itineraries, that included the visit to localities described in preceding works; petrograficals and paleontological determinations (to make petrograficals precisiones and about of the sedimentation environment) as well as the use of channels 1, 4 and 5 of image LANDSAT 7, composed to false color, we obtained a set of important results of which the main one is the preparation of the first geologic map on scale 1: 100 000 of the pliocuaturnary deposits for all the territory.

### INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos por el Proyecto de Investigación y Desarrollo denominado: "Cartografía de los Depósitos Pliocuaturnarios de la Isla de la Juventud a escala 1: 100 000", (Peñalver *et al.*, 2003). En la ejecución del mismo la institución responsable fue el Instituto de Geología y Paleontología (IGP), a donde pertenecen la mayoría de los autores. Además contó con la participación de la Empresa Geominera de Pinar del Río y



en calidad de colaboradores participaron funcionarios y técnicos de la Delegación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente en la Isla de Juventud.

Este mapa se inserta en las investigaciones para completar la cartografía geológica a escala 1: 1 00 000 del territorio nacional, además de que constituye la continuación de los trabajos de mapeo, a escala cada vez más detallada, de los depósitos plio – cuaternarios cubanos, que ha venido realizando durante años una parte del colectivo de autores.

A estas razones se une el hecho de que a pesar de que estos depósitos ocupan un por ciento considerable del territorio de la Isla de la Juventud, en gran parte de las investigaciones geológicas realizadas en ese municipio sólo se mencionan en párrafos lacónicos y otros casos que constituyen importantes aportes al tema necesitaban aclarar algunos aspectos, generalizar resultados o una escala más detallada de los trabajos.

## **MATERIALES Y METODOS.**

La metodología empleada se basó en las siguientes acciones:

1. Revisión y resumen de todas las publicaciones y trabajos inéditos, relacionados con este territorio.
2. Revisión de las fotos aéreas a escala 1: 37 000 del vuelo K15 del año 1970, y de las bases topográficas a las escalas de 1: 50 000 y 1: 100 000.
3. Separación preliminar de los elementos, que indicaban la presencia de depósitos cuaternarios y determinación de los itinerarios de trabajo de campo (comprobaciones de campo), con especial atención a los lugares descritos en trabajos precedentes.
4. Realización de los trabajos de campo, donde se describieron minuciosamente, de acuerdo a su nivel de aflorabilidad, un total de 155 puntos, incluyendo toma de fotografías en los casos más representativos y la toma de 50 muestras para análisis de laboratorio y principalmente para su posterior comparación macroscópica.
5. Confección del mapa de datos reales y su base de datos a escala 1: 100 000, así como un texto explicativo, todo en base digital, los cuales fueron sometidos a la censura del Consejo Científico Técnico, del que recibieron evaluación satisfactoria.
6. Realización de 18 análisis de laboratorio para determinaciones petrográficas y paleontológicas con el objetivo, principalmente, de hacer precisiones petrográficas y del ambiente de sedimentación, no así para determinar su edad, pues como se sabe los restos fósiles de los depósitos cuaternarios en Cuba no son índices para su datación (de la Torre y Kojumdgieva, 1984, Léxico Estratigráfico 1991, 2001 y Cabrera y Peñalver, 2001). Esto implica que hasta el momento las dataciones de prácticamente todos los depósitos cuaternarios se hacen de manera aproximada, basándose en criterios de relación estratigráfica, geomorfológicos y paleoclimáticos. En este caso han jugado un rol determinante en tal sentido los criterios utilizados en trabajos anteriores y las observaciones de campo.
7. Confección del mapa geológico a escala 1: 100 000, de la columna geológica generalizada y su texto explicativo (informe final), sobre la base de un análisis pormenorizado de las observaciones de campo y los datos de la información precedente; así como de los datos de laboratorio y precisiones de los límites geológicos realizadas con la imagen LANDSAT 7, compuesta a falso color, para lo cual se utilizaron los canales 1, 4 y 5. Tanto para el Mapa Geológico como para el Informe Final, los tópicos relacionados con: nombre de la formación, autor, referencia original, origen del nombre, área tipo, holoestratotipo con sus coordenadas Lambert y su respectiva hoja topográfica; así como las correlaciones y edad de las diferentes formaciones han sido tomados de la última versión del Léxico Estratigráfico de la República de Cuba (2001),



tal y como se encuentran en el mismo, incluyendo las citas bibliográficas. Los demás tópicos (distribución geográfica, litología, relaciones estratigráficas, conjunto faunístico, ambiente de sedimentación y espesor), están ajustados a las características concretas del territorio en cuestión, sobre la base de los datos obtenidos por los autores. También fueron utilizados datos de autores precedentes, los cuales aparecen debidamente citados en el texto de dicho informe.

## DISCUSIÓN

Las investigaciones sobre la geología del Cuaternario en este territorio, a pesar de que se iniciaron casi siglo y medio atrás, fueron poco significativas hasta el triunfo revolucionario.

En los trabajos de la Comisión del Mapa Geológico de España que culminaron con el Croquis Geológico de la Isla de Cuba a una escala aproximada de 1: 850 000, cuya elaboración fue iniciada por Fernández de Castro en 1869 y continuada por Pedro Salterain hasta 1883, los depósitos cuaternarios de este territorio aparecen cartografiados como varios sistemas, pero el Pleistoceno no aparece subdividido y el texto explicativo del croquis no se conserva.

El primero de los trabajos de la etapa republicana fue un reconocimiento geológico regional de Cuba, realizado por Hayes *et al.*, (1901), donde se mencionan para este territorio dos tipos de sedimentos: el aluvión reciente y la Grava Mal País. En el aluvión reciente fueron incluidos los depósitos de playas y los cenagosos de la franja costera a una altura de solo unos cuantos pies, compuestos casi exclusivamente por minerales oscuros, materia orgánica y algunas gravas ferruginosas asociadas con arenas de playas. La Grava Mal País, distribuida en la mayor parte de la Isla, forman peñascos de un conglomerado ferruginoso en la superficie. Sus clastos varían entre arenosos y hasta 5 cm. de tamaño, de color oscuro a negro debido a la presencia de manchas de hierro y manganeso. Evidentemente se estaban refiriendo a una parte de los depósitos que en la actualidad se incluyen en las formaciones Guane y Guevara y probablemente a cortezas de intemperismo del macizo metamórfico del Jurásico.

En 1923 se realizaron trabajos de búsquedas de hierro bajo la dirección de Agende (*fide* Babushkin *et al.*, 1990), sobre menas ferrosas, las cuales relacionó con acumulaciones eluvio - deluviales de esta composición, que por lo visto corresponden al horizonte superior de las formaciones Guane y Guevara.

En 1940, Rutten en su trabajo "Geología de la isla de Pinos, Cuba", hizo referencia a una cubierta de unos pocos metros de espesor, arenosa y aluvial sobre los esquistos y una faja arenosa en la zona costera, excepto en la parte norte donde los esquistos afloran por doquier.

En un estudio-compendio geológico e hidrogeológico, realizado por Brödermann (1949), apenas se mencionan los depósitos cuaternarios.

Posterior al triunfo de la Revolución hubo un incremento en los estudios de la geología del territorio de la Isla de la Juventud en general y con ello la del Cuaternario, entre los que se incluyen los siguientes:

Los realizados por Filatov y sus colaboradores (1961-1963, *fide* Babushkin *et al.*, 1990), sobre la existencia de turbas y su potencial energético. Como resultado se detectó el yacimiento de Ciénaga de Lanier, con pocas posibilidades en su utilización como material combustible, pero sí como agromenas.





Desde la década del 60 hasta la década del 80 Kukla, 1963; Kuman y Gavilán, 1965; Santrucek, 1967; Navarrete, (1982 *vide* Babushkin *et al.*, 1990) y otros muchos investigadores no citados por Babushkin como Pokrishkin *et al.*, (1961), Zwhar y González (1984), González *et al.*, (1988), Zwahr *et al.*, (1985), entre otros, realizaron investigaciones relacionadas con los depósitos de caolín y arcillas rojas, con importantes aportes en la caracterización de estos depósitos predominantemente eluviales.

Como resultado de los trabajos de Kuman y Gavilán se realizó un informe donde se incluye un mapa geológico a escala 1: 150 000 de toda la Isla de la Juventud, en el cual aparecen las secuencias carbonáticas de la llanura meridional, como depósitos neogénicos. A esta misma escala se presenta un mapa de los depósitos cuaternarios y de la geomorfología en el que aparecen representados depósitos eluviales, aluviales, de playa, palustres - lacustres y aluvio - deluviales, desarrollados sobre rocas precuaternarias. En esta clasificación se mezclan los depósitos de las formaciones Guane, Guevara y Siguanea. Los resultados en los mapas de los depósitos cuaternarios y específicamente los del mapa geomorfológico, en el cual aparecen tipos de relieve, se pueden considerar de positivos y deben tenerse en cuenta en futuras investigaciones de este tipo para este territorio, ya que los mismos reflejan en mayor o menor grado la estructura geológica de la Isla.

En el año 1967 Albear realizó un reconocimiento preliminar de la llanura meridional, donde describió calizas coralinas, calizas oolíticas, material semiconglomerático de relleno basal y material calcáreo gredoso. Este autor no hizo referencia a la edad de dichos depósitos.

En este propio año Ionin *et al.*, concluyeron las investigaciones sobre la formación del relieve y los sedimentos costeros de la Isla, que habían sido iniciadas por los Institutos de Oceanología de Cuba y de la URSS en el año 1965, donde se analizan también los rasgos generales, que en tal sentido se reflejaban en trabajos de los geógrafos Massip, Isalgué y Núñez Jiménez (*vide* Ionin *et al.*, 1967). Los resultados constituyen un importante aporte para esta temática y aún siguen siendo de actualidad, por lo que en gran medida han sido utilizados en este trabajo.

Los depósitos arenosos del oeste de la Isla de la Juventud han sido ampliamente estudiados y los resultados obtenidos han constituido una importante fuente de información para la actual redescritción de la Formación Siguanea. Entre estos trabajos, se citan los siguientes: Freire, (1970 *vide* Babushkin *et al.*, 1990), Ortega y Almenares (1984), Ferrer *et al.*, (1981) y Saínz *et al.*, (1990).

En 1974 Garapko y otros investigadores realizaron un levantamiento geológico en los depósitos del macizo metamórfico, donde los depósitos carbonáticos de la llanura meridional se consideraron neogénicos. Los depósitos cuaternarios del resto del territorio fueron caracterizados según su composición mineralógica y mecánica, distribución y espesor, pero no se hicieron precisiones claras en cuanto a su edad y correspondencia con determinadas unidades litoestratigráficas de los depósitos pleistocénicos. La descripción de los depósitos considerados como holocénicos es bastante precisa y gran parte es de actualidad.

Los trabajos realizados por Kartashov *et al.*, (1976), tuvieron como principales resultados la descripción de las formaciones Guane, Guevara y Siguanea.

Franco y de la Torre en el año 1980 realizaron un estudio de los depósitos de la llanura meridional. Entre los datos de sus investigaciones analizados figura la denominación de las formaciones Cocodrilo, Punta del Este y Cayo Piedra, con los miembros Guanál, Cerro Caudal y Santa Isabel. Estos propios autores incluyeron la Formación Cocodrilo como un miembro de la



Formación Cayo Piedra en la primera versión del Léxico Estratigráfico, con lo cual crearon una aparente confusión, que trató de subsanarse en la segunda versión del Léxico, considerando los depósitos de la Formación Punta del Este como Formación Vedado y los depósitos de las otras dos formaciones como Formación Jaimanitas, pero en esta decisión no participaron los autores de las tres formaciones originales. La falta de claridad total en esta cuestión solo podía resolverse con nuevas investigaciones, realizadas en este trabajo y con las que se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1- Los depósitos que fueron asignados a la Formación Cocodrilo se diferencian de los que fueron asignados a la formación Cayo Piedra por su morfología y su composición litológica, principalmente.
- 2- Los depósitos asignados a la Formación Cayo Piedra son similares a los depósitos de la facies calcarenítica de la Formación Jaimanitas. Su transición lateral se puede observar con la facies coralina.
- 3- Los depósitos asignados inicialmente a los miembros de la Formación Cayo Piedra en algunos casos no se observan y en otros casos constituyen facies dentro de esta formación con una distribución muy local, por ejemplo los depósitos atribuidos al Miembro Santa Isabel no son más que material de relleno en un canal existente en la localidad donde fue descrito.
- 4- Los depósitos descritos como Formación Punta del Este por Franco y de la Torre en 1980 no pudieron ser comprobados durante los trabajos de campo, ya que los existentes donde se ubica la localidad tipo por sus autores no son más que calcarenitas de la Formación Cocodrilo, los demás afloramientos que los mismos mencionan tampoco fueron encontrados durante nuestras observaciones. Por ello y debido a que tienen características litológicas similares, con excepción del contenido de minerales terrígenos, se adoptó la inclusión de los depósitos de la Formación Punta del Este, en los depósitos de la Formación Vedado. En la nueva versión del Léxico Estratigráfico (2001), se llegó a la conclusión de que dichos depósitos no son más que una variación litofacial dentro de la Formación Vedado característica para sus partes más próximas al macizo metamórfico, que por su poca extensión no es práctico segregarla como una unidad independiente, lo que fue ratificado en este trabajo.

En el año 1981 Cherniajovskii generalizó la geología de los depósitos cuaternarios en el territorio de la Isla de la Juventud a escala 1: 250 000, sus principales resultados se reflejan cartográficamente en el mapa 1: 250 000 de la República de Cuba. Algunos de sus datos referentes a las formaciones Guane, Guevara y Sigüanea; así como de los depósitos holocénicos han sido utilizados íntegramente para la confección del informe acompañante del presente mapa. No fue posible así en la llanura sur donde el autor solo reconoce a la Formación Jaimanitas (denominada entonces como Grupo Jaimanitas, compuesto para este territorio por Jaimanitas Inferior y Jaimanitas Superior), dividida en cuatro biolito facies.

Babushkin y otros autores en el año 1990 realizaron un levantamiento geológico en el macizo metamórfico de la Isla de la Juventud, en el cual reflejan los depósitos de la llanura meridional como Formación Carapachibey en superficie y Formación Punta del Este como su subyacente inmediato. En la parte norte aportan una significativa cantidad de datos sobre las formaciones Guane, Guevara y Sigüanea, esta última la dividen en: Sigüanea I y Sigüanea II; así como de los depósitos holocénicos y las cortezas de intemperismo, que son de actualidad y que se reflejan en este trabajo.

De significativa importancia para el conocimiento de los depósitos cuaternarios de este territorio son los trabajos de Córdoba *et al.*, (1993) y Córdoba *et al.*, (2001), sobre los depósitos de turbas en la Ciénaga de Lanier, los cuales son una continuación de las investigaciones que al respecto inició Filatov en el año 1963 en el territorio cubano, relacionadas con estos depósitos.



Los trabajos realizados por Rivero (1997), durante la prospección y exploración para rocas de recubrimiento al sur de la Isla de la Juventud aportan datos de importancia en cuanto a la petrografía y paleontología de los depósitos que fueron investigados, los cuales se reflejaron en el texto del informe.

## RESULTADOS

Como resultado de los trabajos de generalización de la geología del Pliocuatnario en el territorio de la Isla de la Juventud, se obtuvo un volumen significativo de nueva información, que constituye una contribución importante al conocimiento de la geología del archipiélago cubano. Merecen ser desatacados los siguientes aspectos:

1. Se confeccionó el primer mapa geológico a escala 1: 100 000 de los depósitos pliocuatnarios para todo el territorio.
2. Fue confirmada y/o reconocida la ocurrencia de transgresiones y regresiones marinas en las partes más bajas del macizo metamórfico, depositando sedimentos tanto terrígenos como carbonáticos.
3. Se reconoció la variación climática, la cual se extiende por lo menos hasta el Cenozoico. La misma ha contribuido a la formación de cortezas de intemperismo, que alcanzan su mayor desarrollo en los períodos de máxima humedad. Los máximos valores se relacionan con el Pleistoceno Inferior y Medio, comenzando a disminuir posteriormente hasta la actualidad.
4. Se reconoció la existencia de la Formación Cocodrilo en el sentido que fue propuesta originalmente por sus autores.
5. No se reconoció la Formación Cayo Piedra y se confirmó que los depósitos existentes bajo esta denominación corresponden a la Formación Jaimanitas.
6. Se demostró que no existen en superficie los depósitos que habían sido asignados a la Formación Punta del Este y se confirmó que los mismos, que sí se encuentran en profundidad, corresponden a la Formación Vedado.
7. Se localizó por primera vez en el territorio la presencia de la Formación Salado.
8. El nivel de detalle de los estudios realizados no permitió, en algunos casos, separar los depósitos de las formaciones Guane y Guevara. Tampoco permitió confirmar la ausencia o la presencia de los depósitos de la Formación La Cabaña.

## CONCLUSIONES

- Los depósitos cuaternarios del municipio Isla de la Juventud ocupan una parte considerable de su territorio. Los mismos constituyen unidades litoestratigráficas del Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior (formaciones Vedado y Guane), del Pleistoceno Inferior - Medio (Formación Guevara), del Pleistoceno Superior Temprano (Formación Jaimanitas) y del Pleistoceno Superior Tardío (formaciones Cocodrilo, Siguanea y Salado). Se tienen, además, dentro del Pleistoceno depósitos innominados arcillosos. También abundan los depósitos holocénicos de origen marino, aluvial, palustre y biogénico. Finalmente se tienen depósitos eluvio-coluvio-proluviales de edad pliolepleistocénica-holocénica indiferenciada.
- En algunos puntos, como es el caso del IsQ 14, coordenadas: x- 278 924, y- 193 656, situado en la cantera al sureste de Hato Milián, existen depósitos semejantes a los de la Formación La Cabaña, pero es muy difícil establecer su diferencia con los depósitos de las calcarenitas margosas. Es probable su existencia en zonas cercanas a la costa, en localidades de un paleorelieve deprimido, como es característico en su distribución en otras partes del archipiélago cubano, pero su confirmación precisa de estudios con un mayor nivel de detalle.



- Los depósitos holocénicos que circundan a la Isla de la Juventud constituyen un polígono de interés para el estudio de la formación del relieve y los depósitos costeros, debido a la variabilidad de su morfología y de su composición.
- En general, sin tener en cuenta los depósitos pliocuaternarios de la Isla de la Juventud no se puede contar la historia del desarrollo geológico de este intervalo para el Archipiélago Cubano.

## RECOMENDACIONES

Analizar en futuros trabajos de actualización del Léxico Estratigráfico de Cuba la probabilidad de validar la Formación Cocodrilo e incluir en la misma los depósitos de las calcarenitas de La Península de Guanahacabibes, de la Ciénaga de Zapata y otros depósitos similares, si es que existen, en el territorio del archipiélago cubano.

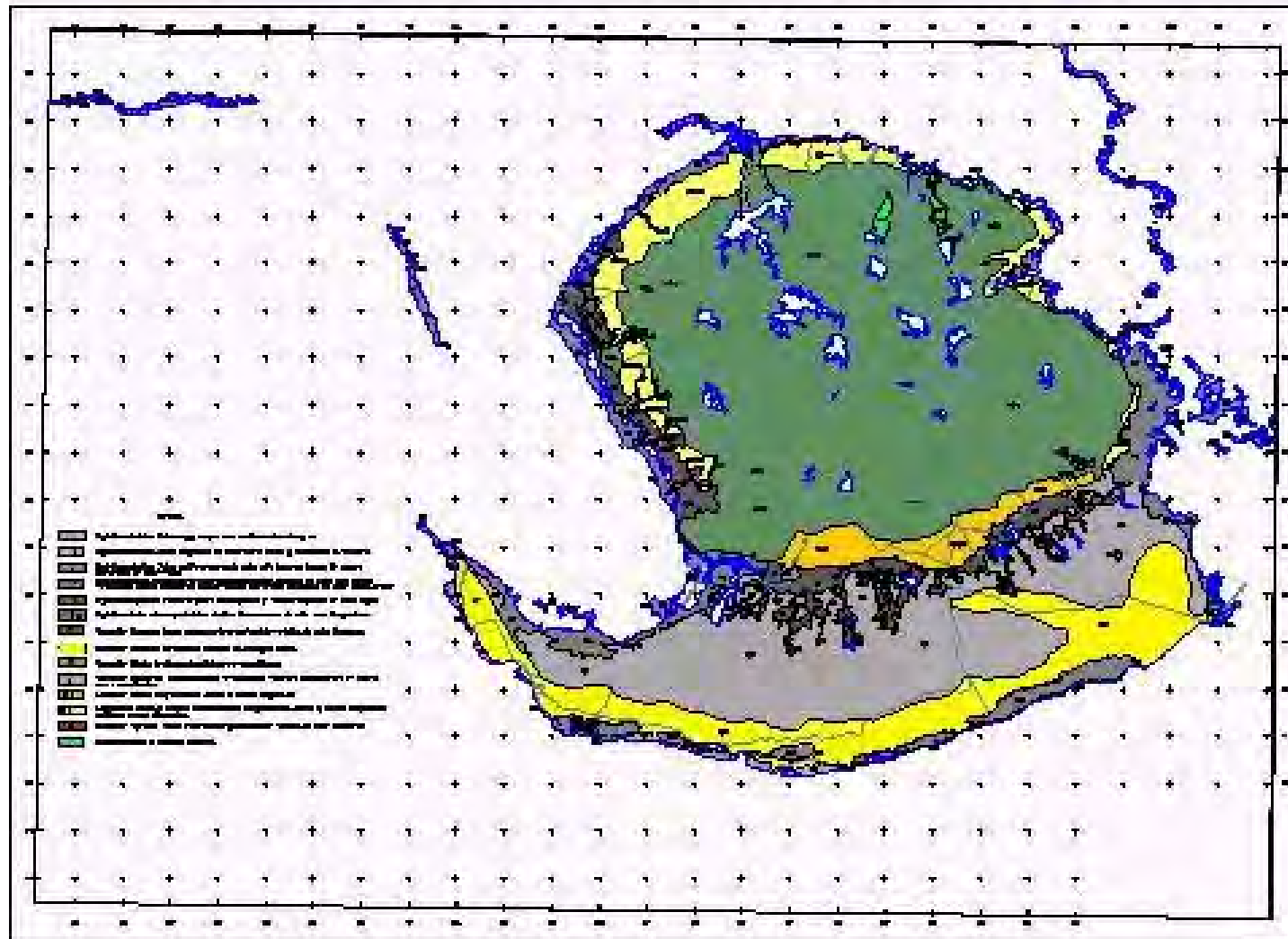
## BIBLIOGRAFÍA

- Albear de J (1967). *Reconocimiento geológico preliminar de la región meridional de Isla de Pinos*. Serie Isl. Pinos. Acad. Cienc. Cuba. La Habana, (17) 25 pp.
- Albear de J, J. Boyanov, K. Brezsnysky, R. Cabrera, V. Chejovich, B. Echeverria, R. Flores, E. Formell, G. Franco, I. Haydutow, M. Iturralde, I. Kantchev, I. Kartashov, V. Kostadinov, G. Millan, R. Myczynski, E. Nagy, J. Oro, L. L. Peñalver, K. Piotrowska, A. Pszczolkowski, J. Rudnicki, G. Y, Radocz y M. I. Somin, (1988). *Mapa Geológico de Cuba a escala 1: 250 000*.
- Babushkin. V, E, Tseimak, S. Akilvekov, V. Zverev, V. Kurtigueshev y N. Orlov (1990). *Informe de los trabajos de levantamiento geólogo-geofísico a escala 1: 50 000 y búsqueda acompañante en el municipio especial de la Isla de la Juventud en colaboración con la URSS (CAME)*. (Inédito). Ofic. Nac. Rec. Min. La Habana.
- Cabrera. M y L. L. Peñalver (2001). *Contribución a la estratigrafía de los depósitos cuaternarios de Cuba*. Rev. C & G. España, 15 (3-4), 37-49.
- Cherniajovski. A. G (1981). *Los depósitos cuaternarios de la Isla de la Juventud y la provincia de Pinar del Río*. (Inédito). Inst. Geol. Paleont. La Habana.
- Córdoba. J, M. Bosh, C. Ponce y O. Fernández (1993). *Informe de la prospección detallada de turba Ciénaga de Lanier, en los sectores Cayo Los Monos y Cayo Redondo*. (Inédito). Ofic. Nac. Rec. Min. La Habana.
- Córdoba. J y N. Rodríguez (2001). *Informe de la exploración de explotación en el yacimiento Cayo Piedra*. (Inédito). Ofic. Nac. Rec. Min. La Habana.
- Fernández de Castro y P. Salterain (1869-1884). *Croquis geológico de la Isla de Cuba*. Bol. Mapa Geol. España. Madrid.
- Ferrer, J, M. E Argudín, J. Horta, T. Baratuti, S. Ramos y H. Pantoja (1981). *Informe sobre la búsqueda orientativ y detallada de arena cuarzosa. Isla de la Juventud*. (Inédito). Ofic. Nac. Rec. Min. La Habana.
- Filatov. A. K (1963). *Informe geológico sobre los resultados de la prospección de los yacimientos de turbas en la república de Cuba*. (Inédito) Ofic. Nac. Rec. Min La Habana.
- Franco, G. L y A. de la Torre (1980). *Los depósitos costeros del sur de la Isla de la Juventud (Isla de Pinos), Cuba*. Rev. Cien. Tierra. Espacio. La Habana, (2) 3 –15.
- Freire. L (1970). *Informe sobre el yacimiento de Buenavista ( Isla de Pinos)*. (Inédito). Ofic. Nac. Rec. Min. La Habana.
- Hayes. C. W, T. W. Vaughan y A. C. Spencer (1901). *Report on a geological reconnaissance of Cuba*. Gov. Print. Off.. Watshigton D. C., 1-123.
- Ionin. A. S y Y. A. Pavlidis (1967). *Condiciones de formación del relieve y sedimentos de la zona costera de la Isla de Pinos*. Rev. Serie Isla de Pinos. La Habana, (20) 20 pp.
- Ionin. A. S, Y. Pavlidis y O. Abello (1977). *Geología de Plataforma Marina Insular de Cuba*. Edit. Nauka. Moscú, 215 pp.



- Kartashov. I. P, N. A. Mayo, A. G. Cherniajovskii y L. L. Peñalver (1976). *Descripción de algunas formaciones geológicas del Sistema Cuaternario de Cuba, reconocidas recientemente*. Ser. Geol. Inst. Geol. Paleont. , Acad. Cienc. Cuba. La Habana, (26) 1-6.
- Kartashov I. P, A. G. Cherniajovskii y L. L. Peñalver (1981). *El Cuaternario en Cuba*. Edit. Nauka. Moscú, (356) 145 pp.
- Klein. L, J. Flimer y R. Gavilán (1968). *Informe final sobre la exploración detallada del yacimiento de caliza para la construcción Guane – Pedrera*. (La Habana). ONRM. La Habana.
- Léxico Estratigráfico de la República de Cuba (2001, 2002). (Inéditos). Instit. Geol. Paleont. La Habana.
- Linares. E, P. Osadchi. A. Dovbina, S. Gil, D. García, L. García, A. Zuazo, R. González, V. Bello, A. Brito, M. Cabrera, C. Capote, J. L. Cobiella, L. Diaz de Villalvilla, O. Egipko, Y. Evdokimov, E. Fonseca, G. Furrázola, J. Hernández, C. M. Judoley, L. Kodankov, A. Markovskii, A. Norman, M. Pérez, L. Peñalver, A. Tijomirov, V. Trofimov, V. Vtulochkin, F. Vergara, A. Zagoskin y V. Zelepuguin (1985). *Mapa geológico de la República de Cuba*, escala 1: 500 000. Cent. Invest. Geolog. MINBAS. La Habana.
- Ortega. R, y V. Almenares (1984). *Informe sobre explotación detallada del yacimiento de arena cuarzosa. Buenavista* (Inédito). Ofic. Nac. Rec. Min. La Habana.
- Peñalver, L. L., M. Cabrera, R. Denis, C. M. Pérez, R. García y R. Pérez (2003). *Cartografía de los Depósitos Pliocuatrnarios de la Isla de la Juventud a escala 1 : 100 000*. (Inédito). Archivo IGP.
- Rutten. L (1940). *Geología de Isla de Pinos, Cuba*. Rev. Socied. Geog. Cuba. La Habana, (1-4) 71-76.
- Rivero. E (1997). *Informe de la prospección y exploración de rocas de recubrimiento al sur de la Isla de la Juventud*. (Inédito). Ofic. Nac. Rec. Min. La Habana.
- Sainz. J, J.C. Pérez, M. Bosch y N. Rodríguez (1990). *Informe de la exploración orientativa y detallada de arena cuarzosa del bloque II del yacimiento Buenavista*. (Inédito). Ofic. Nac. Rec. Min. La Habana.
- Torre, A. de la y M. Kojumdieva (1985). *Estudios sobre los moluscos del Neógeno – Cuaternario del Occidente de Cuba y sus implicaciones estratigráficas*. Rep. Inv. Inst. Geol. Paleont. , Acad. Cienc. Cuba. La Habana, (5) 19 pp.
- Zwahr. H, R. González y A. Machado (1985). *Informe final de los trabajos de búsqueda orientativa y detallada de caolín para cerámica fina en la Isla de la Juventud a escala 1: 5000*. (Inédito). Ofic. Nac. Rec. Min. La Habana.





*PRIMERA CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS 2005. Memorias en CD-Rom, La Habana, 5-8 de Abril del 2005.*





# PROCEDIMIENTO PARA CARTOGRAFIAR EL CARSO SUPERFICIAL EN ZONAS LLANAS A PARTIR DEL MODELO DIGITAL DEL RELIEVE

**Idelfonso R. Díaz Barrios<sup>(1)</sup> Marina B. Vega Carreño<sup>(2)</sup>**

(1)GEOCUBA Investigación y Consultoría. Filial La Habana Loma y 39 Nuevo Vedado Plaza de la Revolución Ciudad de La Habana Cuba Tel . (537) 881 74 00 E-mail: Investigación @ geocuba.co.cu

(2) Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Facultad Ing. Civil, Departamento Geociencias Calle 114 #11901 /119 y 127, Cujae, Marianao 15 E-mail mvega@civil.cujae.edu.cu

## RESUMEN

En la constitución geológica del país, abundan las rocas carbonatadas en las cuales el proceso de carsificación se ha desarrollado ampliamente. La principal manifestación de este proceso en las rocas, es la presencia de oquedades de variados tamaños que influyen negativamente en diferentes actividades socioeconómicas del hombre como por ejemplo las construcciones de diferentes tipos la actividad agrícola etc. Por esa razón es necesario desarrollar metodologías que permitan cartografiar la presencia de cavidades cársticas en un territorio y con ese objetivo se ha desarrollado el presente trabajo. En el mismo se propone un procedimiento sencillo para identificar las oquedades cársticas superficiales partiendo de los datos topográficos en formato digital, es decir, del Modelo Digital de Elevaciones. El procedimiento conlleva el sombreado del modelo y su coloreado con una paleta de dos colores. A continuación, teniendo en cuenta que el relieve es llano, es necesario exagerar la altura. Finalmente se debe iluminar convenientemente. Como resultado se obtienen zonas anómalas que indican la presencia de las oquedades cársticas. Para validar los resultados obtenidos con este procedimiento se superpone el mapa de la red de drenaje al de las oquedades y se complementa con otras informaciones tales como geología, suelos, tectónica y otras informaciones específicas de la aplicación para la cual se realiza el estudio. Todos estos pasos se ejecutan de forma automatizada con poco consumo de tiempo. Se presenta un ejemplo de aplicación en un área carsificada al sur de La Habana donde se necesita cartografiar las oquedades para realizar una correcta aplicación de fertilizantes.

## ABSTRACT

Carbonated rocks, widespread in Cuban geological constitution, have greatly suffered from karst processes. The main proof of the effect of these processes in the rocks is the presence of sink holes and caves of different sizes that negatively affect several socio-economic activities of man, such as building construction and agriculture among others. Therefore, it is necessary to develop methodologies for mapping the presence of surface sinkholes in a territory. The objective of this paper is to describe a simple procedure for identifying surface sinkholes that mark karst topography based on digital topographic data. This procedure uses shading, coloring and the vertical exaggeration of altitude. All these steps are carried out automatically in a short period of time. The above procedure was applied in a southern region of Havana province and the results are described in this paper.

## INTRODUCCIÓN

Las rocas carbonatadas son abundantes en la constitución geológica del territorio cubano. Particularmente en las secuencias de la Neoplataforma ellas están muy bien representadas, con un amplio desarrollo del proceso de carsificación, dando lugar, en muchas regiones, a paisajes cársticos típicos. El desarrollo de este proceso obliga a tenerlo en cuenta en una gran cantidad de investigaciones geomorfológicas y geólogo-geofísicas.

Por otro lado, el desarrollo de la cartografía digital ha facilitado la utilización de mapas en formato digital, entre ellos, tiene gran relevancia actualmente, el Modelo Digital del Relieve (MDR).



A partir de los criterios anteriormente expuestos es que se decidió elaborar una metodología en que las facilidades de procesamiento automatizado del MDR se ponen en función de lograr la cartografía de oquedades cársicas en una región. Los diferentes pasos para lograr este objetivo se describen en el presente trabajo.

## MÉTODOS

Para elaborar el mapa de zonas de infiltración de las aguas superficiales fue necesario elaborar el MDR. Estos se pueden elaborar por métodos fotogramétricos a partir de fotos aéreas o imágenes satelitales u otros métodos de trabajo de campo pero en este caso se ha obtenido a partir de mapas topográficos a escala 1:10 000. La generación del GRID se realizó con el programa Surfer 7 empleando el método de interpolación Kriging, con paso cada 10 m.

A continuación, aprovechando las posibilidades de este programa se generó un relieve sombreado (*shaded relief*) con parámetros que nos permitieran eliminar aquellas sombras que fueran consideradas ruido y no aportaran los elementos necesarios para interpretar las pequeñas oquedades del relieve. Se fueron haciendo pruebas con diferentes valores de los parámetros hasta obtener el que consideramos óptimo: una iluminación por la horizontal a 0 grados y 90 grados por la vertical, esto garantiza que las sombras sean mínimas y coincidan con las oquedades. Para resaltar el fenómeno, se utilizó una paleta de dos colores de manera que el 70% del color, en este caso rojo, correspondiera con el elemento deseado y el resto correspondiera con la base del área. Se representó el modelo con una exageración del relieve 60 veces por encima de los valores normales y la visualización se efectuó con el método de gradiente central diferencial y el método de sombreado de reflexión Lambertiana (Fig. 1)



Figura. 1 Parámetros del sombreado

Para realizar estos procedimientos es necesario tener en cuenta la altura promedio para cada sector del área y no trabajarla como un todo, ya que no es posible encontrar con mucha frecuencia, terrenos totalmente homogéneos donde los parámetros que se apliquen sean válidos para todo el entorno.

El resultado de la aplicación del procedimiento descrito hasta aquí se muestra en la Fig. 2

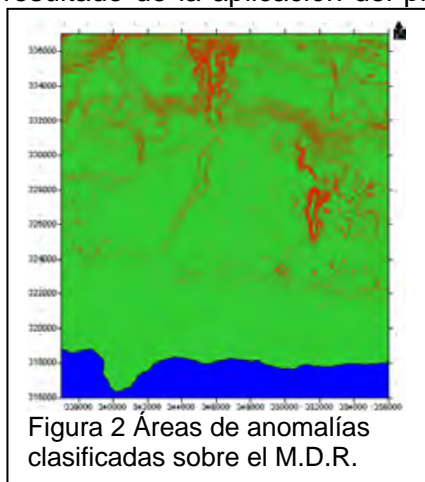


Figura 2 Áreas de anomalías clasificadas sobre el M.D.R.

donde se observa una imagen con dos clases bien definidas en la zona terrestre lo que corresponde a la paleta de colores anteriormente seleccionada. El color rojo representa un grupo de anomalías que asociadas con las zonas de las oquedades del relieve, que son las oquedades cársicas por donde se produce la infiltración de las aguas superficiales.

Con este procedimiento podemos asegurar que entre un 70 y 75 % de esas anomalías son oquedades o zonas de infiltración de las aguas superficiales. Si además colocamos la red de drenaje digitalizada que fue interpretada del mapa de curvas de nivel altimétrico, la eficiencia de la clasificación semiautomatizada pudiera llegar hasta un 95%. (Fig.

3).



Posteriormente se pasa a editar sobre la imagen, los sectores anómalos señalándolos con polígonos rellenos y de bordes notables. Se incorpora al mapa otras informaciones necesarias para su comprensión. El resultado se presenta en formato .srf, .dwg, u otras extensiones compatibles con un Sistema de Información Geográfica (Fig. 4).

#### Interpretación compleja:

Después de realizados estos procedimientos con el relieve se pasa a completar el estudio con un análisis integral o Interpretación compleja según Astrain (1991) donde intervienen otros factores tales como:

- Relieve
- Formaciones geológicas
- Tectónica
- Tipo de Suelo

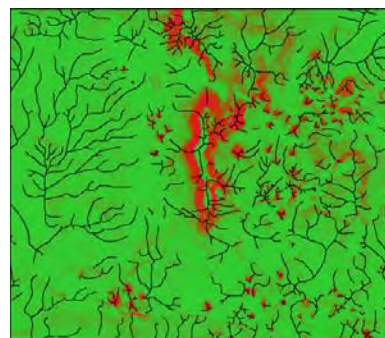


Figura 3 Sector de anomalías detectadas superpuesta con y la red de drenaje superficial

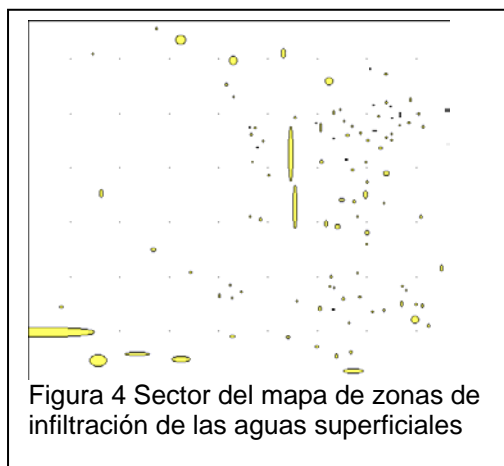


Figura 4 Sector del mapa de zonas de infiltración de las aguas superficiales

#### Caso de estudio

El procedimiento explicado se aplicó en un del sur de la provincia de La Habana comprendida entre las coordenadas X 337000 356000, Y 316000 337000 (Fig. 5)

#### Relieve

El sur de la provincia de La Habana se caracteriza por ser un área de una extensa llanura conocida en la literatura geomorfológica de Cuba por la llanura cársica del sur de La Habana. Las alturas oscilan entre 0- 58.68m sobre el nivel del mar, según datos

obtenidos del modelo digital para el sector estudiado. Este sector presenta a su vez una estrecha franja paralela a la línea de costa con alturas que no sobrepasan los dos metros de altitud, constituyendo según el mapa geomorfológico (Iturralde – Vinent, 1977) una franja de costa del tipo acumulativo – pantanosa, la cual pudo delimitarse fácilmente en el M.D.R

#### Geología

Están presentes un grupo de formaciones pertenecientes a la cobertura neoplataformica dentro de las cuales se presentan por orden de formación Jaruco, Colón, Cojimar, Güines, y los depósitos palustres cuaternarios de la franja pantanosa correspondiente a la línea paralela a la costa.

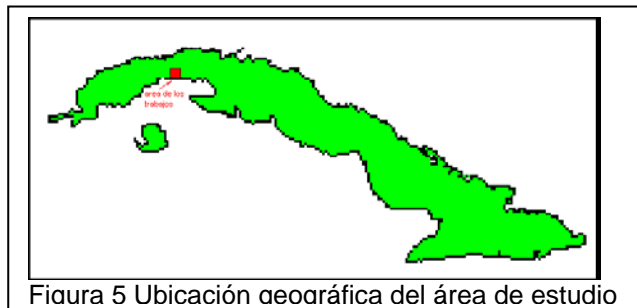


Figura 5 Ubicación geográfica del área de estudio

Estas rocas de origen carbonatado y depositadas a partir del Eoceno Inferior parte alta, tienen espesores muy variados (Iturralde Vinent, 1977; Albear e Iturralde Vinent, 1982). Las características de las formaciones están disponibles en (IGP, 1986; 1988; 2002) y un resumen de las mismas la exponemos a continuación.



## Neoplataforma

Se extiende sobre todas las unidades preexistentes, desde el Oligoceno Superior hasta el Cuaternario, en ocasiones las relaciones pueden ser concordantes con los depósitos del Oligoceno Superior de las formaciones Tinguaro y Guanajay, pero en la mayoría de los casos estas unidades están ausentes y las formaciones Oligo-Miocénicas yacen discordantemente sobre el resto de las unidades preexistentes. (Fig. 6)

### Formación Jaruco (jr)

Autor: D. K. Palmer en: P. J. Bermúdez, 1950

Distribución geográfica para el área: Se desarrolla en forma de parche irregulares para nuestra área se encuentra en la parte más occidental solo distribuida en un pequeño sector (5%) al sureste del poblado de Alquizar.

Composición Litológica: calizas biotriticas arcillosas interestratificadas con margas. Subordinadamente se observan calizas arrecifales, calciruditas y calcarenitas.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la Formación Guanajay, Se cubre concordantemente por las formaciones, Cojimar, Güines,. Transiciona lateralmente con la Formación Colón.

Edad: De acuerdo a la asociación fosilífera se determinó una edad para estos depósitos de Oligoceno Superior parte alta-Mioceno Inferior.

Espesor: Entre 60-240 metros.

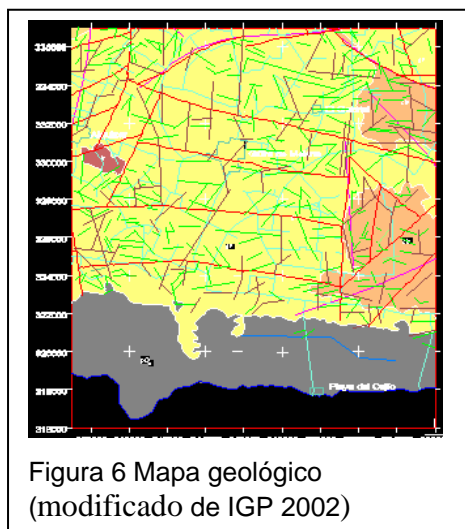


Figura 6 Mapa geológico  
(modificado de IGP 2002)

### Formación Colón. (cln)

Autor: J. Brodermann, 1945.

Distribución geográfica: Se desarrolla en las provincias de Cienfuegos, Ciudad de La Habana, La Habana y Matanzas. En el área aparece en aproximadamente un 15% del territorio estudiado en su sector centro oriental.

Composición Litológica: Se compone en general de: biocalcarenitas de matriz margosa, calciruditas finas de matriz micrítica, calizas biomicríticas, areniscas polimíticas de matriz calcáreo-arcillosa a arcilloso-calcárea y margas y calcilutitas que se interestratifican con calcarenitas y calciruditas.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre la Formación Tinguaro y discordantemente sobre las formaciones Capdevila, Consuelo, Chirino, Damuji, Peñón, Nazareno, Perla, Vía Blanca y Universidad. Esta cubierta concordantemente por las formaciones Cojimar, Güines y transiciona lateralmente con la Formación Jaruco.

Edad: Presenta una edad Oligoceno Superior parte alta-Mioceno Inferior.

Espesor: No supera los 80 metros.

### Formación Cojimar. (cj)

Autor: R. H. Palmer, 1934.

Distribución geográfica: Se desarrolla en las provincias de Ciudad de La Habana, La Habana, Matanzas y Pinar del Río. Para nuestra área se localiza en un pequeño sector en el extremo más noroccidental del territorio.

Composición Litológica: Margas calcáreas, arcillosas, arenáceas, a veces nodulares, cretas, calizas biotriticas arcillosas, calcarenitas de matriz margosa y arcillas. Sus colores predominantes son el crema, amarillento, blancuzco y grisáceo.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre las formaciones Jaruco, Colón (parte indiferenciada). Se cubre concordantemente por la Formación Güines

Edad: Su fauna permite fecharla como Mioceno Inferior parte alta-Mioceno Medio parte baja.





Espesor: Entre 60-390 metros.

### **Formación Güines (gn)**

Autor: A. Humboldt, 1826.

Distribución geográfica: Para nuestra área es la más distribuida apareciendo por casi todo el territorio aproximadamente el (60 %) excepto en la franja sur y en los sectores ocupados por las formaciones Jaruco, Colón y Cojimar que son muy limitados

Composición Litológica: Calizas biodetríticas de grano fino a medio, fosilíferas, biohémicas, calizas dolomíticas, dolomitas, calizas micríticas sacaroidales y lentes ocasionales de margas y calcarenitas. Las calizas son por lo general masivas, raramente estratificadas.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre las formaciones Cojimar, Colón, (parte indiferenciada), Jaruco. Esta cubierta concordantemente por la Formación Loma Triana y discordantemente por las formaciones Bellamar (parte indiferenciada) y sus miembros Cárdenas y el Maíz, Camacho, Villarroja y la Formación Guevara. Transiciona lateralmente con las formaciones Cojimar,.

Edad: Mioceno Inferior parte alta-Mioceno Superior parte baja, aunque su mayor volumen se ubica entre el Mioceno Medio parte alta y el Mioceno Superior.

Espesor: Oscila entre 50 y 1670 m.

### **Depósitos palustres (pQ<sub>4</sub>).**

Se encuentran en pantanos costeros de agua dulce que se originaron en la tierra, en la zona de descarga de las aguas subterráneas, fundamentalmente cársticas, como resultado de la contención de estas aguas por el mar. Estos depósitos se adentran en la tierra apenas unos kilómetros, para nuestro caso no sobrepasan los 7 Km. y no pasa del límite de la zona de empantanamiento periódico, que se origina en estaciones de lluvias.

En su composición los pantanos de manglares tienen un predominio de los residuos vegetales y los limos carbonáticos, también facies carbonático-arcillosas y arcillosas. La parte principal de los depósitos está constituida por una sustancia dispersa fina, arcillosa, con textura fluidal o parecida al algodón, formada por mica-esmectita con paquetes de micas y de esmectitas en diferentes proporciones, caolinita-esmectita y combinaciones roentgenomorfas. El color oscuro de los depósitos está condicionado por la presencia de material orgánico. El material arcilloso contiene numerosos fragmentos de tejido vegetal, a veces acumulaciones de granos angulosos de cuarzo, de dimensiones limosas.

La facies carbonática de los depósitos de pantanos de mangles está representada por limos carbonático-organógenos con una cantidad variable de detrito vegetal. Aquí se encuentran limos blancos parecidos a la creta, sin detrito vegetal, limos grises con resto de vegetales y turba carbonática. Todas estas variedades contienen conchas de moluscos terrestres.

El material carbonatado está representado por restos esqueléticos finos y una masa carbonatada pelitomórfica. Todo el material carbonatado de los depósitos de pantanos de mangles está representado por una asociación mineral de aragonito calcita magnesial y calcita.

Todos los depósitos palustres del área ocupan la posición más baja en el relieve terrestre. Ellos recubren a las calizas y calcarenitas de la Fm. Jaimanitas que aquí no afloran. El espesor de estos depósitos no es muy grande, oscilando entre 1 y 2 m, se distribuye en casi toda la costa.

### **Tectónica**

Según (Iturralde-Vinent, 1977) durante la deposición de los sedimentos carbonatados de las secuencias neoplatafórmica o postorogénica y relacionada a los movimientos oscilatorios, tuvo lugar una actividad tectónica regional que produjo un intenso agrietamiento y fallamiento que



concluye para la región Habana Matanza precisamente con algunas fallas extensas y profundas, donde incluso sus bloques ponen al descubierto rocas preorogénicas y orogénicas.

Este intenso tectonismo es difícil de apreciar a simple vista en el área de estudio dado el espesor de la capa de suelo que cubre sus rocas, sin embargo la aplicación de técnicas de procesamiento automatizadas y semiautomatizadas a los modelos digitales del terreno y la red de drenaje superficial natural, nos han permitido identificar muchas estructuras sepultadas y que no son posibles de observar ni aún con el levantamiento directo de campo (Fig 6) donde se presentan las estructuras tectónicas planteadas por investigaciones precedentes y un grupo grande de lineamientos propuesto por esta investigación, los cuales avalan el intenso tectonismo reflejado en las capas más superficiales de la geología del territorio, que aún a pesar del recubrimiento del suelo, es posible apreciarlos, constituyendo un aporte sustancial al conocimiento e interpretación de las direcciones fundamentales de los esfuerzos, que a nuestro juicio, fueron de oeste - este , suroeste - noreste.

## Suelos

Según el mapa de suelos (MINAGRI, 1975) hemos podido identificar para el área de estudio 4 tipos de suelos con 4 Sub tipos. De ellos 4 sub tipos cubren de forma bastante homogénea en cuanto a la extensión total del área. Sin embargo, su distribución es de forma anárquica, no existiendo una correspondencia exacta con el elemento basal geológico, excepto en el caso de los suelos con características especiales cgc ubicados en la franja paralela a la línea de costa, para los cuales el mapa geológico los define como PQ4 y se enmarcan en la Ciénaga Costera. Otra relación de correspondencia se aprecia entre los suelos Ferralíticos rojos Típicos y las rocas de la formación Colón. Ellos tienen contenidos de arcillas caolinítica en una proporción mayor del 75% que están desarrollados sobre calizas duras biocríticas.

Los suelos Ferralíticos rojos compactados que se vinculan a rocas de la formación Güines se clasifican como muy profundos pudiéndose señalar que los asentamientos de Güira de Melena y Alquizar se encuentran ubicados sobre este suelo.

Por su parte los suelos Ferralíticos rojos del sub tipo Hidratado con un 25% de pérdida del horizonte "A". se caracterizan por una profundidad muy variada que va desde 20 cm. hasta más de 100 cm., lo que los categoriza como medianamente profundos, profundos y muy profundos indistintamente. Solo se ubican en un sector del territorio al centro y norte mientras que en otro sector al oeste del caserío de Boca del Cajío hay otra pequeña área categorizada como pedregosa (4-15%); ambas por su ubicación tienen relación de basamento con rocas de la formación Güines.

Las Renzinas Rojas del sub tipo Típico están ubicados también sobre la formación Güines y específicamente las podemos ubicar a 1 y 2,5 Km. al este de los poblados Boca de Cajío y El Gabriel respectivamente. Estos son los suelos menos extendidos en el área y dentro de las características que las diferencian del resto está su textura arcillosa, el contenido de gravas para los sectores que afloran más al sur es de 16-50% catalogándose de mediana graviliosidad en este mismo sector el contenido de rocas es igual que para el sector del norte y es de 2-10 % clasificando como moderadamente rocoso. El sector septentrional es más pedregoso (0,2-3%).

Hemos dejado para ultimo los suelos del tipo **cgc** por no tener uso actual en la agricultura. Como ya describimos en párrafos anteriores se presentan como una franja paralelo a la línea de costa, geográficamente, a las áreas de ciénaga costera. En el mapa geológico se describe como **PQ<sub>4</sub>** considerados depósitos palustres, ocupan aproximadamente un 30% del área investigada y por la literatura consultada estos yacen por lo general sobre la formación Jaimanitas, la cual no posee afloramiento en el territorio.





Estos pantanos costeros de agua dulce que son zonas de descarga de las aguas subterráneas cársticas, por lo general no hacen cambiar la línea de costa y su extensión en la penetración hacia tierra firme no sobrepasa para nuestro caso los 7 Km. delimitándose estos por las áreas de empantanamientos de los períodos lluviosos.

### **Integración de resultados:**

Los resultados obtenidos por el procesamiento geólogo-geomorfológico es necesario integrarlos a otros análisis especiales relacionados con la aplicación de los fertilizantes tradicionales y los nuevos tipos de fertilizantes ecológicos que se pretenden utilizar.. La aplicación de cualquiera de las dos clase de fertilizantes deberá tener en cuenta toda la información que ha aportado la presente investigación y además, otras informaciones como los medios de aplicación y otros aspectos en cuanto a las condiciones meteorológicas y en sentido general las condiciones climáticas y la época del año en que se aplicarían

## **CONCLUSIONES**

- 1- Mediante la interpretación de los MDR con procedimientos semiautomatizados, es posible llegar a determinar de una forma rápida y en un alto porcentaje, algunos de los elementos geomorfológicos más notables de las zonas de relieve llano.
- 2- Las anomalías detectadas en el procesamiento a los MDR pueden estar asociadas a cárcavas, oquedades cársicas verticales tales como casimbas y sumideros o manifestaciones cársicas que pueden influir en la aplicación de los fertilizantes en un área ya sea por su forma de asimilación, propagación o dispersión en el medio.
- 3- Para aplicar cualquier tipo de fertilizante es necesario integrar los factores: Relieve, Formaciones geológicas, Tectónica, Tipo de Suelo, Tipo de fertilizante a emplear, Procedimiento de fertilización, Condiciones climáticas, Estación del año en que se procederá a la fertilización y otros factores con el fin de evitar daños al ecosistema y el empleo racional de los recursos.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- Astrain P.J 1991. Investigación Ingeniero-geológica Regional Básica. Inédito.  
Guilarte C.M. Astrain P.J Fernández J.E. Díaz I R 1995. Tecnología para la elaboración del Modelo Digital del Relieve y la generación de los mapas morfométricos.  
I.C.G.C 1989. Mapa Topográfico edición en papel a escala 1:10 000  
IGP MINBAS 1986. Contribución a la geología de las provincias de la Habana  
I.G.P. MINBAS 1988. Léxico Estratigráfico de Cuba.  
IGP, MINBAS 2002. Mapa Geológico escala 1:100 000 de la República de Cuba.  
MINAGRI 1975. Mapa de Suelos a escala 1:50 000.



## **SHELL CONCENTRATIONS AND COASTAL ENVIRONMENTAL CHANGES IN THE LATE QUATERNARY OF RIO DE JANEIRO, BRAZIL**

Maria Célia Elias Senra (1), Rommulo Mendes Carvalho Barreiro (1), Alan de Paiva Bernardes (1), Natália Pereira Benaim (1), Daniele Silva Batista (2).

(1) Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNI-RIO), (2) Geologia Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Situated at Cabo Frio region, the Rio de Janeiro coastal plain enclose continental, deltaic, lagoonal and marine sediments deposited as consequence of Late Quaternary sea level changes. The selected area of study at Cabo Frio County encloses significant levels of coarse shell concentrations. Whole shells and shell fragments dating chiefly between 7 500 and 5 100  $^{14}\text{C}$  yr BP are in agreement with the maximum marine transgression curve to Rio de Janeiro. The present study provides evidences of marine flood at Late Quaternary on the basis of ecological and taxonomic features of fossil concentrations from four localities L1 to L4 from south to north. Four drill holes yielded 2.5 m of sedimentary material. Each locality was grouped in four benthic malacofauna associations (A-D). A- *Anomalocardia brasiliiana*, *Lucina tepida*, *Tellina nitens* - Association: These bivalve-species characterize a typical infauna of low energy, mesolitoral to infralitoral. B- *Corbula chione*, *Cyrtopleura costata* - Association: This fauna of a blue-green silty probably was deposited in deeper parts of an open lagoon close to an inlet or in a river affected by coastal reentrance. C- *Neritina virginea*, *Cerithium atratum*, *Crassostrea rhizophorae*, *Ostrea puelchana* - Association: As hardground for fixation the oysters used woody vegetation, substrate also exploited by gastropods. D- *Anomalocardia brasiliiana*-*Ostrea puelchana* - Association. These two species characterize in that order a infauna and epifauna of low energy mesolitoral to supralitoral in estuaries. The diversity indexes 16.08%; 30.32%; 48.78%; 4.82% were achieved from southern to northern sections. In the study area the Holocene Post-Glacial Marine Transgression is confirmed by the formation of oligohaline to mesohaline conditions. Paleocommunities diversity of shell beds point out river-estuary and lagoon conditions developed faraway present-day shore lines.



## **METAMORPHISM OF OPHIOLITIC MATERIAL IN CUBA AND ITS GEODYNAMIC SIGNIFICANCE**

Antonio García-Casco (1)

*(1) Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, Fuentenueva s/n, 18002-Granada, Spain.*

This contribution presents key petrological characteristics of a variety of metamorphic complexes associated with ophiolitic bodies in Cuba, and conjectures on their geodynamic significance in terms of formation, subduction, obduction, and collision of oceanic lithosphere in the northern margin of the Caribbean plate during the Mesozoic. Low pressure metamorphic complexes associated with the "northern ophiolites" in Western, Central, and Eastern Cuba (Cajalbana, Iguará-Perea, and La Tinta), characterized by faint internal deformation and mineral associations, textures and P-T evolution typical of ocean floor metamorphism, document formation of oceanic lithosphere. The petrologic, geochemical, and age data favor formation at suprasubduction oceanic basins and, locally, the roots of oceanic arcs during the Cretaceous. High pressure blocks present in serpentinite mélanges tectonically juxtaposed with the "northern ophiolites" in Western, Central, and Eastern Cuba (Sierra del Rosario, Santa Clara, Holguín, La Corea, and Sierra del Convento) and the Escambray terrane record subduction of oceanic lithosphere. Based on their petrological characteristics and P-T paths, it is shown that these rocks underwent contrasted thermal regimes during subduction and exhumation: a) cold subduction and hot exhumation in the mélanges of the "northern ophiolites" in Western and Central Cuba, b) hot subduction and cold exhumation in the mélanges of the "northern ophiolites" in Eastern Cuba, and c) cold subduction and cold exhumation in the mélanges of the Escambray. These inferences and the available geological and geochronological data suggest the occurrence of several subduction zones distributed in time and space during the Cretaceous. The Güira de Jauco amphibolite body (Eastern Cuba) is characterized by a clockwise P-T path with peak T at intermediate P. It is interpreted as the metamorphic sole of the Moa-Baracoa ophiolite body documenting intraoceanic collision (at the Turonian-Coniacian?). Though the relationship of this collision with the subduction zone(s) of Eastern Cuba is uncertain, a plausible model is collision of the fore-arc with the subduction system where the Sierra del Convento and La Corea complexes formed. The P-T evolution of the Yayabo amphibolite body, tectonically juxtaposed within the Escambray terrane, suggests tectonic deep burial under a moderately hot thermal gradient and hot exhumation. This evolution diverges from those of the high pressure blocks of the mélanges from the Escambray. It is hypothesized that this body may represent a fore-arc fragment of the subduction zone where the Escambray impinged. Though the geodynamic proposals presented here must be contrasted with the results of further petrologic, geochemical, and geochronological studies, the diversity of P-T paths, ages, and tectonic environment of formation of the various metamorphic complexes of Cuba point to more complex global geodynamic models than those proposed to date for the Caribbean region.

*I dedicate this contribution to Guillermo Millán Trujillo, who is about to gain his retirement after a long-lasting scientific life devoted to the study of the metamorphic complexes in Cuba. Gracias Guillermo.*



## **CARACTERÍSTICAS PETROLOGO GEOQUÍMICAS Y CONSIDERACIONES EN LA EVOLUCIÓN DE LAS ROCAS DE ARCO VOLCÁNICO REGIÓN SIERRA DEL PURIAL.**

**Ramona Rodríguez Crombet**

***Geominera de Oriente, Carretera Siboney, Km. 2<sup>1/2</sup>, Santiago de Cuba, Cuba. 90400.C. Elect:  
rrodriguez@geom.stg.minbas.cu***

### **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo la determinación de las características petrológicas y algunas consideraciones en la evolución de las rocas de arco volcánico en la región de la Sierra del Purial aportando nuevos datos que posibilitarán efectuar comparaciones con otras regiones de Cuba y el Caribe..

Este se elabora teniendo en cuenta los trabajos de levantamiento, prospección, y exploración realizados en el área de estudio, los análisis de algunos trabajos que abordan la petrología y geología de esta región.

La zona está constituida por rocas del arco cretácico, con un metamorfismo de bajo grado de temperatura y alta presión, representado por la Formación Sierra del Purial ( $K_1$ - $K_2$ ), del arco volcánico Paleógeno representado por el Grupo El Cobre ( $P_1$  -  $P_2^2$ ), y de las formaciones superpuestas a los arcos: Formación Cañas ( $K_2^m$ ), San Ignacio  $P_2^2$ , Charco Redondo  $P_2^2$ , San Luis  $P_2^{2-3}$ , Maguey  $P_3^1$ - $N_1$ , además por las rocas del complejo ofiolítico metamorizado, metamorfitas de los bloques continentales representados por las formaciones Sierra Verde y Chafarina del  $J_3$ - $K_1$  y formaciones sedimentarias de coberturas Neógenas y Cuaternarias recientes.

Para el estudio petrológico-geoquímico, se utilizaron 505 secciones delgadas y 73 análisis químicos, que se procesaron estadísticamente y con el sistema Newpet (1992) y el Microstat para calcular la media de sus composiciones químicas y mineralógicas. Se pudieron determinar preliminarmente el origen del magmatismo de las rocas de en la región de Sierra del Purial, y corroborar e investigar nuevas ideas en cuanto a su origen.

Se determinaron las características geólogo petrológicas y algunas consideraciones de la evolución del arco volcánico en la región de Sierra del Purial, comprobándose además la existencia de efusivos y esquistos ofiolíticos no detectados anteriormente, recomendando la determinación de tierras raras para la comprobación de los diferentes enunciados de la evolución del volcanismo.

### **ABSTRACT**

The objective of the present paper is the determination of petrologic characteristics and some considerations about volcanics rocks arch evolution on Sierra del Purial zone, giving new data to make comparisons between Cuba and the Caribbean Area.

We take in consideration the results of geological observations during mapping, prospecting and explorations made in these zone and it's geology and some petrologic analyses.

The area is represented by Cretaceous volcanic arc rocks with a low degree of temperature and high pressures of Sierra del Purial Formation ( $K_1$ - $K_2$ ), the Paleogenic volcanic arc representing by El Grupo El Cobre ( $P_1$ -  $P_2^2$ ), and the sedimentary rocks over the arcs: Formation Cañas ( $K_2^m$ ), San Ignacio  $P_2^2$ , Charco Redondo  $P_2^2$ , San Luis  $P_2^{2-3}$ , Maguey  $P_3^1$ - $N_1$ , also rocks of the ophiolites



metamorphosed complex, continental blocks represented by Sierra Verde and Chafarina the  $J_3$  -  $K_1$  and sedimentary formations overlaying the Neogene and Quaternary recent sediments. Were used 505 thin sections and 73 samples for chemistry analysis for petrological-geochemistry studies, they were processed using Newpet(1992) and Microstat systems, in order to calculate the average of the Chemical and mineralogical compositions. Was possible by first determine the magmatism origin of the Sierra del Purial rocks and was found new ideas about it's origin. Were determinate the geological and petrological characteristics and were arrived to some considerations about the volcanic arc evolution at Sierra del Purial area. Was proving also the existence of effusive, and Ophiolites schist, never found before. We are recommending in future works the rare elements determination, in order to prove the done here different point of view about volcanism evolution.

## INTRODUCCION

El sistema de arcos-islas circum-caribeño (AICC); Burke, 1988, Lewis y Draper, 1990; Draper et al., 1994, 1996) consiste en una acreción compleja de diversas unidades tectónicas, que presentan una compleja historia geológica, resultado de su formación inicial y sucesiva acreción en un ambiente geodinámico intraoceánico, desde el Jurásico superior-Cretácico inferior.

Sin embargo, las etapas más tempranas de la evolución magmática y tectónica del AICC son relativamente poco conocidas, debido a que la superposición de los estadios de crecimiento del arco más recientes han enterrado, erosionado, deformado, metamorfozido y/o asimilado a los materiales formados en los estadios más antiguos.

El objetivo principal de este trabajo es precisar utilizando criterios geoquímicos, tectónicos y geológicos, la posible evolución de las rocas de arco volcánico Mesozoicas del Grupo Sierra del Purial.

Una caracterización bastante completa del complejo metavulcanógeno- sedimentario del Purial se debe a Boiteau et al (1972), quienes lo interpretaron como un complejo ofiolítico; otros autores como Somin y Millán, plantean que las rocas del Grupo Sierra del Purial no deben ser incluidas como parte del complejo ofiolítico de Cuba Oriental. Quintas considera que solo las rocas pertenecientes a la Formación Quiviján son representantes de una secuencia ofiolítica.

Desde el punto de vista petroquímico hasta el año 1987, se consideraba que las rocas volcánicas de la Formación Quiviján y las anfibolitas de Macambo y Guira de Jauco, eran de naturaleza oceánica, y que las metavulcanitas de la Sierra del Purial eran de origen de arco de islas, aunque existen algunos autores que no descartan la posibilidad de su origen ofiolítico.(Campos, M1987; Hernández, M ;1987; Boiteau et al 1972).

El corte fundamental en la región de estudio ligado al arco volcánico lo componen las secuencias metamórficas pertenecientes al Grupo Sierra del Purial de edad Cretácico Inferior (Aptiano) Cretácico Superior (Campaniano), éste se encuentra ubicado entre la localidad de Guajimero y el caserío La Tinta, provincia Guantánamo.

## MATERIALES Y METODOS

Para este trabajo fueron analizados los últimos conceptos de diferentes autores que han estudiado y publicado aspectos de la geología, geoquímica y tectónica de las rocas Mesozoicas en el AICC.



Los materiales revisados fueron:

Mapa Geológico escala 1:100 000 de la Sierra del Purial

Los puntos de levantamiento geológico de los años 1997-1980

Las marchas rutas realizadas en el TTP de petrología año 1996

Todas las descripciones de secciones delgadas en existencia (505)

Análisis Químicos(75)

Se utilizó el sistema NEWPET(1992), para la descripción petrológica de las rocas.

## DISCUSIÓN

### CARACTERISTICAS PETROLOGICAS DE LAS ROCAS DE ARCO VOLCANICO DE LA REGION SIERRA DEL PURIAL

Para la valoración Petroológica geoquímica de las rocas se utilizó El sistema estadístico MICROSTAT y el sistema NEWPET(1992), para la nominación petrográfica de las rocas ígneas y piroclásticas la clasificación de la I.U.G.S, 1989 de Le Maitre et al, para las metamórficas

Los análisis químicos fueron 73, y las variedades de rocas analizadas fueron las efusivas, las intrusivas del Paleoarco y Neoarco, esquistos de arco y ofiolíticos, lavas básicas ofiolíticas.

Gráficos y aspectos analizados:

**Le Maitre 1989 fig 1, fig 2, fig 3.**






**Irvine y Baragar 1971, fig 4.**

**Mullen 1983 fig 5**

**Pearce et al 1977, fig 6.**

**Norma CIPW.**

Simbología de los gráficos:

-  **EFUSIVOS**
-  **INTRUSIVOS**
-  **LAVAS BASICAS**
-  **ESQUISTOS**
-  **TOBAS**

Los gráficos que en ambos ejes intervienen el FeO\* y MgO no son muy utilizados debido a la variación que experimentan ambos, solamente se utilizó el de Irvine y Baragar 1971.

## DESARROLLO

Le Maitre 1989, fig 1, fig 2, fig 3.





En las rocas de la Sierra del Purial, vamos a observar tres tendencias claras:

- Lavas picríticas ; si comparamos estas lavas y los esquistos ofiolíticos como se muestra en la tabla # 1, con otras lavas ofiolíticas de Cuba según Iturralde.M 1996, las de la Sierra del Purial son mas ricas en MgO y similares en cuanto a TiO<sub>2</sub> a las de Quivijan.
- Lavas Boninitas con (SiO<sub>2</sub>>53 % y #Mg>0.6; Crawford et al., 1989) y TiO<sub>2</sub><0.5% evidencia de las primeras erupciones de un arco primitivo en la región de Sierra del Purial y rocas de arco volcánico con metamorfismo regional(esquistos), que pertenecen a la serie toleítica y baja de K, en menor cantidad a la calcoalcalina media de K, con rocas de composición basáltica a riolítica.
- Rocas de arco volcánico efusivas con cierto grado de metamorfismo que pertenecen a la serie toleítica baja de K, en menor cantidad a la calcoalcalina media de K, con rocas de composición basáltica a andesítica.Los intrusivos del K<sub>2</sub> (gabros, gabro dioritas, dioritas, dioritas cuarcíferas) pertenecen a la serie normal de tendencia toleítica con bajo contenido de potasio.

#### VALORES MEDIOS DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LOS BASALTOS OFIOLITICOS DEL CINTURON SEPTENTRIONAL Y ORIENTAL DE CUBA.

TABLA 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 S	11Hol	12Hav
SiO <sub>2</sub>	49.2	50.7	49.8	49.1	48.5	46.7	48.54	49.7	47.66	53.89	53.03	55.13
TiO <sub>2</sub>	1.8	0.7	0.9	2.2	1.0	0.5	1.08	0.69	0.58	0.285	0.41	0.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.7	17.5	16.5	14.4	16.5	17.5	16.53	13.63	14.96	13.41	14.24	13.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.9	7.7	7.8	7.5	4.7	4.3	4.75	3.15	3.87	2.45	8.83Ft	8.45Ft
FeO	7.1	7.7	7.8	4.7	4.6	5.9	4.63	5.54	4.10	5.275		
MnO	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.12	0.11	0.10	0.105	0.17	0.18
MgO	9.7	7.0	7.5	7.5	8.7	4.9	6.62	11.08	11.46	9.93	10.03	11.71
CaO	11.5	9.2	10.7	8.5	6.6	12.0	8.76	6.98	7.35	7.55	10.49	8.27
Na <sub>2</sub> O	2.9	1.0	0.1	2.4	4.5	2.6	4.05	2.56	3.32	1.82	2.49	1.74
K <sub>2</sub> O	1.10	0.05	0.04	0.40	0.3	0.4	0.34	0.50	0.45	0.27	0.371	0.754

**Nota :** 1 -Encrucijada. (Tomado de Iturralde M. 1994)  
 2 - Margot (Habana). (Tomado de Iturralde M. 1994)  
 3 - Margot (Matanzas). (Tomado de Iturralde M. 1994)  
 4 - Albaiza. (Tomado de Iturralde M. 1994)  
 5 - Santa Lucía. (Tomado de Iturralde M. 1994)  
 6 - Quibiján. (Tomado de Iturralde M. 1994)  
 7 - Holguín. (Tomado de Iturralde M. 1994)  
 8 -Lavas Ofiolíticas. (Sierra del Purial 1998)  
 9 - Esquistos Ofiolíticos. (Sierra del Purial 1998)  
 10 -Boninitas (Sierra del Purial 1999)  
 11- Boninitas (Holguín)(Tomado de Iturralde M.1999)  
 12- Boninitas (Habana)(Tomado de Iturralde M.1999)

#### Pearce et al 1977, fig 4



Por este diagrama de discriminación tectónica se observa :

- Existencia de rocas de origen ofiolítico (Esquistos y Lavas)
- Existencia de rocas de origen de arco volcánico(Esquistos, Efusivos, Intrusivos)

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ROCAS DE ARCO VOLCÁNICO Y OFIOLÍTICAS

En la tabla # 2 se observa la composición química y normativa de las rocas de Sierra del Purial ligadas al arco y de las lavas ofiolíticas y esquistos ofiolíticos , en los esquistos de arco volcánico se reflejan los de  $PPI < 3$  y  $PPI > 3$ .

Se puede observar que en la evolución de los basaltos de los oceánicos a los de arco disminuye el MgO y aumenta la SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> y el CaO.

Las lavas Boniniticas cumplen con (SiO<sub>2</sub>>53 % y #Mg>0.6; Crawford et al., 1989) y TiO<sub>2</sub><0.5%

**TABLA 2**

<b>COMPOSICION QUIMICA DE LAS ROCAS OFIOLITICAS Y DE ARCO VOLCÁNICO EN LA SIERRA DEL PURIAL</b>								
	Basaltos	Andesitas	And-Bas	Esquistos	Esquistos	Esquistos Ofiolíticos	Lavas Ofiolíticas	Lavas Boniniticas
# Muestras	4	3	4	11 PPI<3%	23 PPI>3%	4	10	2
SiO <sub>2</sub>	51.32	60.26	56.64	59.54	56.38	47.66	49.7	53.89
TiO <sub>2</sub>	1.21	0.50	0.78	0.75	0.76	0.58	0.69	0.285
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.06	16.91	16.04	15.21	15.23	14.96	13.63	13.41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.82	1.98	2.33	3.07	2.99	3.87	3.15	2.45
FeO	5.84	2.99	5.37	3.86	4.69	4.10	5.54	5.275
MnO	0.14	0.07	0.12	0.09	0.12	0.10	0.11	0.105
MgO	4.71	2.90	4.14	3.89	5.19	11.46	11.08	9.93
CaO	9.21	5.63	6.22	5.28	5.69	7.35	6.98	7.55
Na <sub>2</sub> O	3.19	4.06	3.44	3.75	3.06	3.32	2.56	1.82
K <sub>2</sub> O	0.58	0.64	1.38	0.74	0.62	0.45	0.50	0.27
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.09	0.02	0.15	0.12	0.098	0.11	-
S	0.06	0.19	0.10	0.23	0.06	0.078	0.04	-
PPI	5.62	2.80	3.91	2.78	4.61	5.74	5.75	5.00
Total	99.87	99.02	100.49	99.34	99.52	99.77	99.84	100.00

## CARACTERÍSTICAS GEOLOGO-PETROLOGICAS Y ALGUNAS CONSIDERACIONES DE LA EVOLUCION DEL ARCO VOLCANICO EN LA REGION DE LA SIERRA DEL PURIAL.



.En el Grupo Sierra del Purial por los criterios geólogo geoquímicos, se definen dos Unidades tectónicas un Basamento Oceánico y el arco volcánico Mesozoico.

### **Basamento Oceánico**

Basamento basáltico pre-Aptiense/Albiense constituidos por Complejo Ofiolítico Metamorfizado, lavas y esquistos oceánicos.

La secuencia esquistosa Far a (Núñez et al 1980, I Méndez 1996 y otros), de naturaleza oceánica se puede observar al Sur de la Sierra del Purial, región de Baitiquirí-Imias-hasta Río Baracoa, su composición fundamental es andesito basáltica, y en menor cantidad basáltica, con varios lentes de calizas marmolizadas

Los esquistos que predominan son los esquistos cloríticos, actinolíticos, calcáreos y epidóticos cuarcíferos, también se observan esquistos metaterrígenos carbonatados, cuarzosos, grafiticos y glaucofánicos, mezcladas con las litologías anteriores se observan lavas ofiolíticas y esquistos ofiolíticos.). Las lavas con tendencia Picritica presentan fenocristales relícticos de piroxenos en una masa de vidrio volcánico actinolitizado, cloritizado, carbonatizado, y cuando éste se conserva es de naturaleza fluidal y amigdaloidal; los microlitos relícticos presentan estructura variolítica, en ocasiones los procesos de metamorfismo son tan intensos que se llegan a formar esquistos, son de tendencia toleítica. Esta secuencia es típica Ofiolítica y constituye parte del basamento del arco de isla Cretácico, conjuntamente con las anfibolitas y el complejo Ofiolítico metamorfizado.

### **Arco Volcánico**

Un arco insular con un metamorfismo de baja temperatura y alta presión (Posible arco primitivo por la presencia de posibles boninitas y esquistos) de carácter toleítico a calcoalcalino. Se superponen rocas efusivas con un menor grado de metamorfismo de carácter toleítico a calcoalcalino, la edad de este arco Cretácico Inferior (Aptiano) Cretácico Superior (Campaniano). Far b y Far c.

La secuencia efusiva piroclástica superior está representada por AR b y AR c (Núñez et al 1980, I Méndez 1996 y otros), su composición es andesítica y en menor proporción andesito basáltica, con intercalaciones contrastantes de dacitas, riódacitas, esquistos actinolíticos epidóticos, cloríticos cuarzosos, cuarzo sericíticos grafiticos y esquistos carbonosos metaterrígenos, pertenecen a la serie toleítica con transición a calcoalcalina.

Se destaca el complejo intrusivo e del Cretácico Superior de gabro dioritas y dioritas cuarcíferas, que cortan a las rocas del Grupo Sierra del Purial. El macizo más grande de este complejo es el Macizo Jojo, que ocupa un área de 28 Km<sup>2</sup>, y se ubica dentro de los ríos Jojo, Cajobabo y Tacre. El centro del macizo está compuesto por dioritas cuarcíferas que transicionan a gabro dioritas, con una participación insignificante de gabros estos pertenecen a la asociación Gabro Plagiogranítica de naturaleza toleítica y baja de K<sub>2</sub>O.

## **CONCLUSIONES**

En las rocas de la Sierra del Purial, vamos a observar tres tendencias claras desde el punto de vista petrológico:



- Lavas picríticas ; si comparamos estas lavas y los esquistos ofiolíticos como se muestra en la tabla # 1, con otras lavas ofiolíticas de Cuba según Iturralde.M 1996, las de la Sierra del Purial son mas ricas en MgO y similares en cuanto a TiO<sub>2</sub> a las de Quivijan.
- Lavas Boninitas con (SiO<sub>2</sub>>53 % y #Mg>0.6; Crawford et al., 1989) y TiO<sub>2</sub><0.5% evidencia de las primeras erupciones de un arco primitivo en la región de Sierra del Purial y rocas de arco volcánico con metamorfismo regional(esquistos), que pertenecen a la serie toleítica y baja de K, en menor cantidad a la calcoalcalina media de K, con rocas de composición basáltica a riolítica.
- Rocas de arco volcánico efusivas con cierto grado de metamorfismo que pertenecen a la serie toleítica baja de K, en menor cantidad a la calcoalcalina media de K, con rocas de composición basáltica a andesítica.Los intrusivos del K<sub>2</sub> (gabros, gabro dioritas, dioritas, dioritas cuarcíferas) pertenecen a la serie normal de tendencia toleítica con bajo contenido de potasio.

En la evolución de las rocas de la Sierra del Purial con criterios geólogo petrológicos y tectónicos vamos atender lo siguiente:

- Basamento basáltico pre-Aptiense/Albiense constituidos por Complejo Ofiolítico Metamorfizado, , lavas, esquistos oceánicos y sedimentos asociados metamorfizados.
- Un arco insular con un metamorfismo de baja temperatura y alta presión(Posible arco primitivo por la presencia de posibles boninitas y esquistos) de carácter toleítico a calcoalcalino. Se superponen rocas efusivas con un menor grado de metamorfismo de carácter toleítico a calcoalcalino, la edad de este arco Cretácico Inferior (Aptiano) Cretácico Superior (Campaniano).Far b y Far c.

## BIBLIOGRAFÍA

- Campos, M et al 1987 Acerca de la posible correlación de las metavulcanitas de la Sierra del Purial con las rocas de la asociación ofiolítica Minería y Geología Vol 5,No2 Pag 3.
- Hernández, M 1987. Algunas particularidades petroquímicas de las metavulcanitas del complejo metamórfico de la Sierra del Purial. Revista Minería y Geología, Vol5 No2, ISMM Pag 31-48.
- Iturralde, M 1994. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba, Editor Manuel A.Iturralde Vincent.printed in miami U.S.A. Enero 1996 254 pag.
- Lewis, J et al 2000 Subdivisión geoquímica del Arco Isla Circum-Caribeño, cordillera central Dominicana:Implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico. Pag1-Pag38.
- Méndez ,I., R,Rodríguez; 1996 Estudio petrológico de los arcos de islas orientales y algunas consideraciones de su metalogenia Archivo Técnico E.G.M.O.
- Quintas, F 1989 Estratigrafía y Paleogeografía de la Provincia de Guantánamo y áreas cercanas. Resúmenes de la tesis para la obtención del grado científico de candidato a doctor en ciencias geológicas Moa.
- Núñez A 1997-1980. Levantamiento 1:100 000 de la Sierra del Purial .Archivo Técnico E.G.M.O.

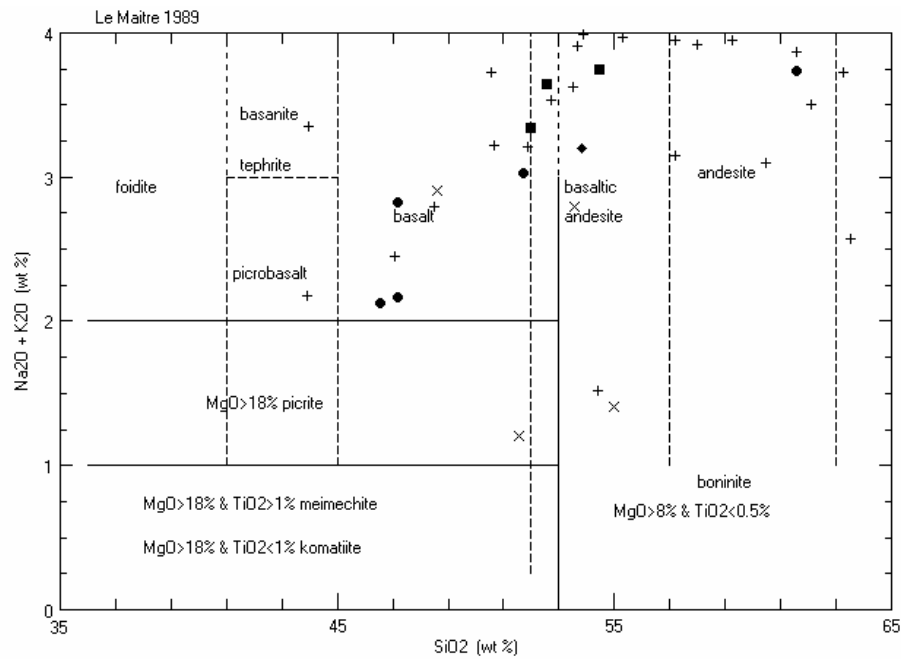


Fig 1

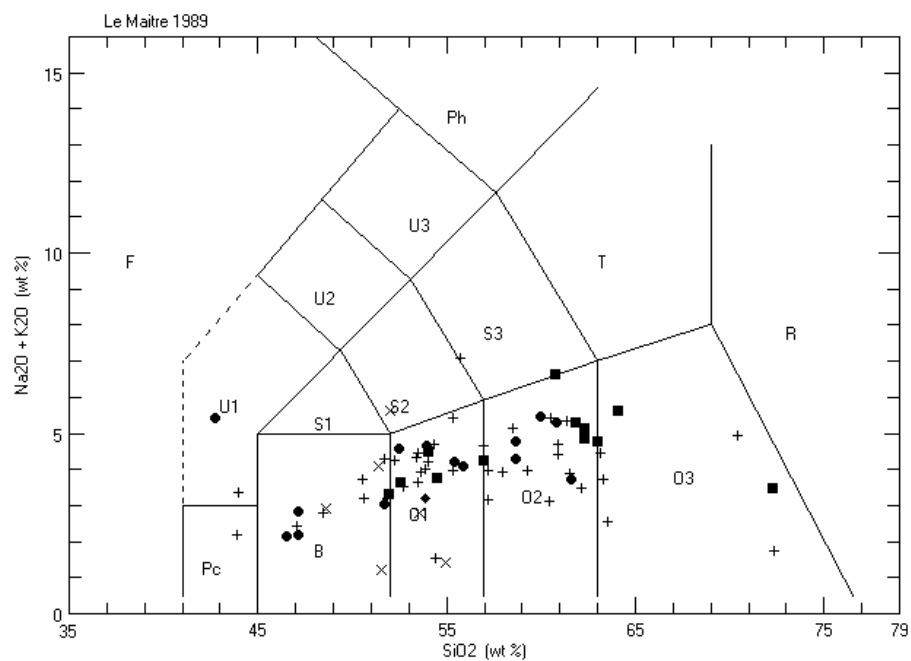


Fig 2

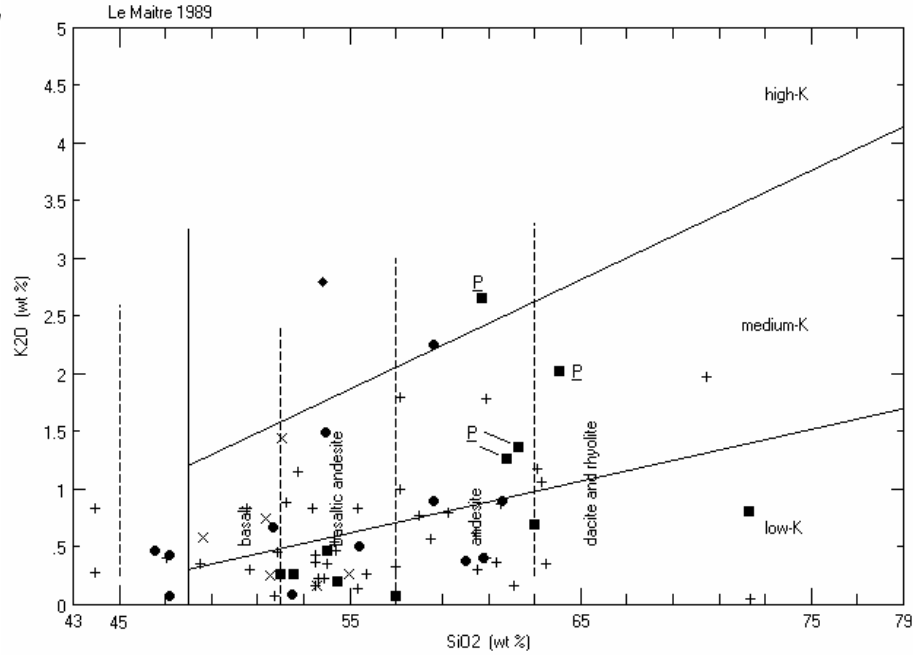


Fig 3

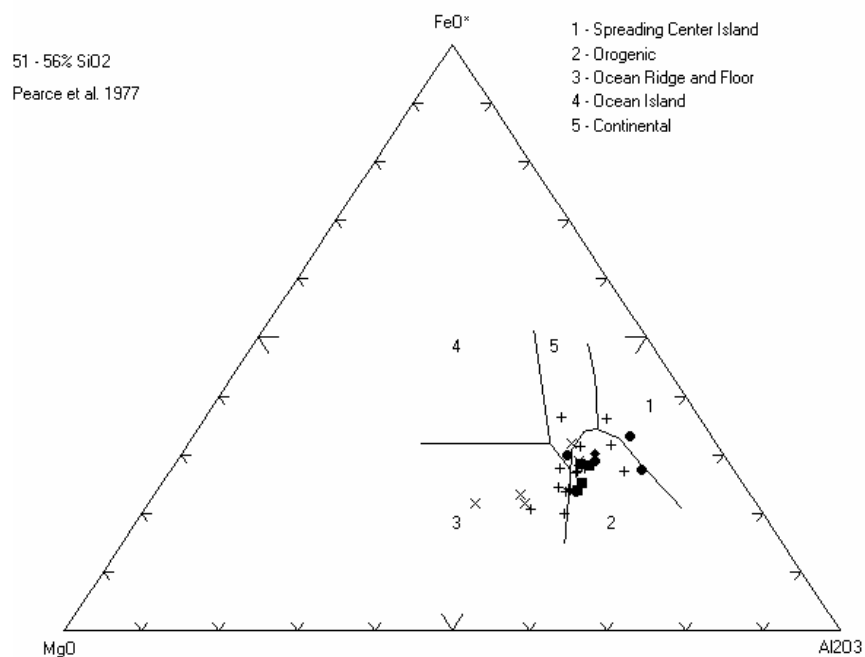


Fig4





## GLOSARIO DE ROCAS METAMÓRFICAS DEL MACIZO SIERRA DEL PURIAL, PROVINCIA DE GUANTÁNAMO.

**DraC. María Margarita Hernández Sarlabous.**

*Delegación Provincial del CITMA, Avenida Manduley No. 308, esquina 13, Reparto Vista Alegre, Santiago de Cuba. E-Mail: [mMargarita@citmasc.ciges.inf.cu](mailto:mMargarita@citmasc.ciges.inf.cu).*

### RESUMEN.

Como un aporte a la segunda versión del Sistema de Clasificación de Rocas para Cuba y a la primera versión del Glosario de Rocas Típicas Cubanas, se confecciona este trabajo, el cual forma parte del proyecto "Diseño del Sistema de Información Geológica de Cuba, a escala 1:100000" (SIGEOL), dirigido por el Instituto de Geología y Paleontología (IGP), con el objetivo de preparar un conjunto de estándares y procedimientos que contengan el diseño de un sistema de información geológica para Cuba.

Como es conocido el macizo Sierra del Purial se encuentra ubicado en la porción centro-oriental de la provincia de Guantánamo y abarca un área de aproximadamente 2360 km<sup>2</sup> constituyendo una de las grandes estructuras del oriente cubano.

Las rocas metamórficas de este macizo son producto del metamorfismo regional de alta P por lo que están representadas por anfibolitas, esquistos glaucofánicos, esquistos verdes, sericíticos, calcáreos, mármoles y rocas débilmente metamorfozadas.

Se describen en el trabajo cada uno de estos tipos de rocas, sus texturas y estructuras, paragénesis mineral, sus facies así como sus protolitos o rocas originales. Igualmente se da una breve caracterización de la geoquímica de algunas de estas rocas. Estas descripciones constituyen una valiosa información para el conocimiento geológico de Cuba.

### ABSTRACT.

As a contribution to the second version of the Classification System of Rocks for Cuba and to the first version of the Glossary of Rocks Cuban Typical, this work, the is made which it is part of the project Design of the System of Geologic Information of Cuba, to scale 1:100000" (SIGEOL), directed by the Institute of Geology and Paleontology (IGP), with the objective of preparing a group of standard and procedures that contain the design of a system of geologic information for Cuba.

As the massif Sierra of the Purial it is known it is located in the center-oriental portion of the province of Guantánamo and it embraces an area of approximately 2360 km<sup>2</sup> constituting one of the big structures of the Cuban east.

The metamorphic rocks of this solid one are product of the regional metamorfismo of high P for the what a thing they are represented by anfibolitas, schists glaucofánicos, green schists, sericíticos, calcareous, marbles and rocks weakly metamorfozadas.

They are described in the work each one of these types of rocks, their textures and structures, mineral paragenesis, their facieses as well as their protolitos or original rocks. Equally a brief characterization of the geoquimical is given of some of these rocks. These descriptions constitute a valuable information for the geological knowledge of Cuba.

### INTRODUCCIÓN.

El macizo Sierra del Purial se encuentra ubicado en la porción centro oriental de la provincia de Guantánamo, abarca un área de aproximadamente 2360km<sup>2</sup> y constituye una de las grandes estructuras regionales del oriente cubano.



Las rocas metamórficas de este macizo están muy bien representadas por anfibolitas, mármoles, esquistos de diferentes paragénesis mineral así como por rocas débilmente metamorizadas y localmente por bloques exóticos de eclogitas. El tipo de metamorfismo es regional de bajas T y P moderadas a altas.

Las **anfibolitas**, son rocas producto del metamorfismo regional y de contacto, formadas en diferentes ambientes geotectónicos y cuyas condiciones de P y T son variables. Estas rocas están constituidas por hornblenda verde y plagioclasa, en ocasiones granate como componentes principales, y como accesorios minerales del grupo de la epidota, esfena, entre otros. Las texturas son variables: granoblástica, nematoblástica, en ocasiones porfidoblástica y poiquiloblástica. La estructura es masiva, mas raramente bandeada.

Los **mármoles** están constituidos fundamentalmente por calcita o dolomita y se forman en cualquier tipo de metamorfismo. Sus protolitos son principalmente rocas carbonatadas (calizas y dolomitas), presentan regularmente textura granoblástica y estructura masiva (no orientada). Además de la calcita o dolomita como mineral principal, los mármoles pueden contener cuarzo, sulfuro de Fe, óxidos, como accesorios.

Los **esquistos** son rocas de diferentes paragénesis mineral y en general son foliadas, de granulometría fina a media, en las cuales generalmente pueden identificarse los minerales a simple vista. Los esquistos están constituidos en lo fundamental por clorita, albita, actinolita y epidota, entonces se denominan esquistos verdes, o sea en general los esquistos reciben el nombre en base al mineral principal que lo constituye.

Las texturas son granolepidoblástica, microgranoblástica, granoblástica.

Las rocas débilmente metamorizadas están representadas por basalto, diabasa, pillowlava, lava, aglomerado tobáceo y tobas, las cuales forman pequeños cuerpos constituyendo ventanas tectónicas.

## **CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS DEL MACIZO SIERRA DEL PURIAL.**

**Anfibolitas.** Las anfibolitas que afloran en la Sierra del Purial, constituyen los relictos metamórficos del complejo efusivo de la asociación ofiolítica y se encuentran en contacto tectónico con las serpentinitas y otros tipos de rocas. Se encuentran formando bloques tectónicos en Macambo (porción suroeste del macizo) y Guira de Jauco al sureste, respectivamente.

Son rocas granudas, de estructuras masivas y bandeadas, en este último caso las bandas están constituidas por minerales claros y oscuros (Guira de Jauco), mientras las de Macambo son masivas.

Los minerales principales son el anfíbol hornblenda, plagioclasa, granate, epidota, cuarzo y en menor proporción feldespato potásico; como minerales accesorios; zoicita, clinozoicita, esfena e ilmenita.

Las texturas de estas rocas son granoblástica, granonematoblástica y porfidoblástica.



Las anfibolitas presentes en Guira de Jauco están constituidas de hornblenda verde, plagioclasa, pequeñas cantidades de cuarzo y feldespatos potásicos. La hornblenda verde es el mineral principal, donde el tamaño de los granos alcanza los 3mm. Los cristales de anfíbol se distribuyen entre los granos de cuarzo y feldespatos, dándole a la roca un aspecto bandeado.

En estas anfibolitas la plagioclasa tiene una composición variable, desde albíta ( $An_{11}$ ), hasta andesita ( $An_{32}$ ). La presencia de cuarzo y de feldespato potásico en las anfibolitas Guira de Jauco puede ser explicado por un débil proceso de migmatización o de albitización. Como mineral accesorio, está presente la ilmenita, formando cristales esqueléticos y cuyo contenido oscila entre 3-6% y más.

La textura de estas rocas es nematogranoblástica y la estructura masiva y/o groseramente bandeadas. Su facies metamórfica es la facies de las Anfibolitas.

En relación con el quimismo las anfibolitas Guira de Jauco presentan las siguientes características:

Oxidos	% en peso (11 muestras)
SiO <sub>2</sub>	50,21
SiO <sub>2</sub>	50,21
TiO <sub>2</sub>	0,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,05
FeO	5,74
MnO	0,05
MgO	8,14
CaO	10,60
Na <sub>2</sub> O	2,89
K <sub>2</sub> O	0,35

En relación con la composición geoquímica estas anfibolitas tienen los valores que se presentan en la Tabla I:

Tabla I. Composición promedio de los principales elementos trazas de la Anfibolitas de Guira de Jauco.

Elementos	Peso $1 \cdot 10^{-4}$	Composición media de toleítas abisales. ( Miyashiro,1975)	Composición media de toleítas abisales. (Engel y otros,1965)
Cr	680	40- 500	297
Co	58,6	-	32
Ni	326	20-350	97
V	496	100-500	292
Sr	94	50-250	130
Zr	93	40-200	95
Cu	19,1	-	77
Cr/Ni	2,1	-	3,1



Como se observa las anfibolitas de Guira de Jauco tienen composición muy similar a los basaltos de corteza oceánica según diferentes autores( Cann, 1971; Engel y otros,1961; Miyashiro,1975).

Las anfibolitas que forman bloques en el melange Sierra del Convento y Macambo (San Antonio del Sur), son rocas melanocráticas, granudas y macroscópicamente tienen estructuras masivas, raras veces orientadas. En la composición de estas anfibolitas entran la hornblenda verde, albita, granate, cuarzo, clinozoicita, zoicita, mica blanca y como accesorio la esfena. En ocasiones la hornblenda se encuentra sustituida por glaucofana, evidenciando un proceso de diaforesis.

La hornblenda forma cristales prismáticos alargados y también cortos, con pleocroismo verde-azul. El tamaño de los cristales es de 1,5-2,5mm.

El granate forma frecuentemente porfidoblastos, en ocasiones poiquiloblastos donde cristales pequeños de cuarzo, epidota, albita y clinozoicita están incluidos en los cristales pseudo hexagonales del granate. La plagioclasa albita ( $An_{11}$ ) se encuentra en cristales prismáticos cortos, sin alteración. Los minerales del grupo de la Epidota se presentan en cristales tabulares cortos, con birrefringencia anómala la zoicita y moderada la clinozoicita. La facies mineralógica de estas rocas es de las Anfibolitas granatíferas. Las texturas de estas rocas es granoporfidoblástica.

La composición química de estas rocas es la siguiente:

Oxidos	% en peso(10 muestras)
SiO <sub>2</sub>	47,08
TiO <sub>2</sub>	1,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,47
FeO	9,70
MnO	0,14
MgO	8,13
CaO	9,80
Na <sub>2</sub> O	2,56
K <sub>2</sub> O	0,36

La geoquímica de estas anfibolitas se presenta en la Tabla II:

Tabla II. Composición promedio de los principales elementos trazas de las Anfibolitas de Macambo.

Elementos	Peso 1. 10 <sup>-4</sup>	Composición media de toleitas abisales (Miyashiro,1974)	Composición media de toleitas abisales (Engel y otros,1965))
Cr	385	40-500	297
Co	61	-	32
Ni	157,5	20-350	97
V	492	100-500	292



Sr	180	50-250	130
Zr	131,5	40-200	95
Cu	48,2	-	77
Cr/Ni	2,1	-	3,1

En el aspecto de la geoquímica las anfibolitas de Macambo presentan una composición similar a los basaltos toleíticos oceánicos.

**Mármoles.** Los mármoles (calcíticos y dolomíticos) se encuentran expuestos en la porción más oriental del macizo Sierra del Purial y constituyen grandes bloques de varias decenas de espesor, rocas de este tipo afloran también en el melange Sierra del Convento en la porción suroccidental del macizo.

Los mármoles son de color gris a gris oscuro, los cuales en afloramiento y en muestra de mano presentan estructura masiva. En su gran mayoría reaccionan fuertemente ante el ácido clorhídrico, indicando una composición calcárea(calcítica). Son rocas cristalinas, granudas, con abundante mena metálica, por lo cuál al ser golpeadas desprenden olor a gas sulfhídrico por la presencia de pirita, por ejemplo, los mármoles que afloran en La Asunción.

En las cercanías de Cantillo (Maisí), los mármoles reaccionan débilmente o no reaccionan frente al ClH, mostrando una composición dolomítica.

Bajo el microscopio, los mármoles tienen textura granoblástica y están constituidas casi en su totalidad por cristales de calcita y/o dolomita, en ocasiones estos minerales forman agregados cristalinos. Los carbonatos presentan maclas polisintéticas típicas, cristales anhédricos formando mosaico y birrefringencia elevada.

La mena metálica acompañante es la pirita, la cuál en muchas ocasiones se encuentra oxidada y con formas irregulares, raras veces en cristales euhédricos.

La facies mineralógica de estas rocas es la facies de los esquistos verdes en condiciones de bajas temperaturas.

**Esquistos.** Los esquistos se encuentran aflorando en diferentes localidades del macizo Sierra del Purial, así por ejemplo en Cajobabo, Imías, Vertientes, La Tinta, La Farola etc, por lo que están ampliamente representadas en esta región estando representadas por diferentes asociaciones minerales, grados de metamorfismo y rocas originales o protolitos.

Estas rocas presentan diversas granulometrías, grados de alteración, coloración, entre otras características. Sus estructuras son esquistosas(orientadas) , groseramente esquistosa(apenas se observa orientación de sus granos minerales). A continuación se describen los principales tipos de esquistos que afloran en el macizo Sierra del Purial.

**Esquistos sericíticos-cuarzosos.** En el extremo oriental del Purial, afloran estos esquistos muy alterados pertenecientes a la Fm.Sierra Verde, los cuales al microscopio muestran sericita, cuarzo y óxido de Fe. Forman una potente corteza de intemperismo de algunos metros de espesor, de color rojo parduzco, como se observa en la localidad de Vertientes y Cantillo en Maisí.

La estructura primaria no se puede determinar claramente debido al grado de alteración. Son rocas friables y solo se aprecia la foliación a gran escala( en afloramiento). En la base de la



formación se detectan filitas constituidas por sericita, clorita y cuarzo y foliación muy fina. Son rocas de color violáceo y no podemos ampliar la descripción por el grado de alteración que presentan estas rocas y el tamaño de los granos minerales. El protolito de estas rocas es terrígeno, el metamorfismo es de bajo grado de T y P y la facies de los esquistos verdes.

**Esquistos calcáreos.** Los esquistos calcáreos se distribuyen fundamentalmente en el extremo oriental del macizo Sierra del Purial, donde junto a los mármoles forman parte de la Fm. La Asunción, también en otras localidades como La Farola, San Antonio del Sur, Imías y otras, donde forman pequeñas intercalaciones con otros tipos de esquistos y rocas débilmente metamorizadas.

La composición mineralógica principal es calcita en agregados cristalinos, raras veces en cristales aislados. Además presentan cuarzo y como accesorio, mena metálica. La textura es microgranoblástica en ocasiones granoblástica, estructura esquistosa, raras veces masiva. El protolito está representado por rocas carbonatadas por lo que reaccionan frente al CIH. El metamorfismo de baja P y T, la facies de los esquistos verdes.

**Esquistos verdes.** En las localidades de Posanco, La Farola, norte de Cajobabo, se observan pequeños afloramientos de esquistos cloríticos, actinolíticos y en menor proporción talcosos, los cuales definimos en general esquistos verdes. Estos tipos de rocas poseen esquistosidad bien definida por lo que tienen estructura esquistosa o foliada.

Son de color verde, verde grisáceo-gris. A excepción de los esquistos actinolíticos donde los cristales prismáticos y aciculares de actinolita, en los demás tipos de esquistos no se observa la composición mineralógica. Los esquistos talcosos son untuosos al tacto y su coloración es gris violáceo. En afloramiento estas rocas forman una débil corteza de intemperismo. Los esquistos cloríticos poseen a simple vista color verde a verde negruzco y su esquistosidad es más grosera que los anteriores tipos de esquistos.

Los esquistos verdes presentan las asociaciones minerales siguientes:

**Esquistos cloríticos:** clorita, en forma de agregados escamosos, con débil pleocroismo y color verdoso, birrefringencia anómala, pequeños cristales de plagioclasa (albita), cuarzo, en ocasiones piroxeno monoclinico relicto y magnetita accesorio. La textura es blasto-porfídica.

**Esquistos talcosos:** talco en forma fibrosa, rara vez prismática, birrefringencia elevada y mena metálica (magnetita, parcialmente oxidada) como accesorio. Textura, fibroblástica.

**Esquistos actinolíticos:** actinolita en pequeños cristales aciculares, birrefringencia moderada, clorita, y como accesorio, pequeñas cantidades de magnetita y epidota. Textura, microgranoblástica. Las facies de estas rocas es de los esquistos verdes. La geoquímica de los esquistos verdes y rocas débilmente metamorizadas indican una composición desde toleítica, pasando por la serie calcoalcalina hasta alcalina.

### **Esquistos glaucofánicos o azules.**

En Macambo, al norte de San Antonio del Sur afloran bloques exóticos de esquistos glaucofánicos mezclados con las anfíbolitas, serpentinitas y eclogitas, formando ventanas tectónicas.





Los esquistos glaucofánicos, tienen coloración gris a gris azulada. Su estructura es masiva y bajo el microscopio la composición mineralógica de estas rocas está representada por glaucofana con fuerte pleocroismo azul- azul violáceo- incoloro, en cristales prismáticos largos, con clivaje bien definido. En ocasiones algunos de los cristales están sustituidos por clorita, formando un borde de color verdoso (la sustitución es a partir de la periferia hacia el centro), evidenciando un proceso de metamorfismo regresivo. Otros minerales acompañantes en pequeñas cantidades son: granate, estilpnomelano, cuarzo, muscovita y minerales del grupo de la Epidota.

La textura de estas rocas es nematoblástica, y en menor proporción nematogranoblástica, la facies de los esquistos glaucofánicos.

**Eclogitas.** Estas rocas constituyen bloques exóticos en el melange Sierra del Convento junto con las rocas de la Asociación ofiolítica, anfibolitas y esquistos glaucofánicos. Son rocas melanocráticas, granudas y masivas constituidas de prismas de piroxeno sódico, granate y minerales del grupo de la Epidota.

#### **Rocas débilmente metamorfizadas.**

En diferentes localidades y secuencias estratigráficas afloran rocas vulcanógena-sedimentarias y efusivas metamorfizadas en diferentes grados, así como también rocas no metamorfizadas, las cuales por supuesto no describiremos aquí.

En las rocas débilmente metamorfizadas se mantienen las texturas y estructuras primarias con granos de piroxenos y plagioclasas relícticos. Su masa principal está constituida por una mezcla de clorita y sericita que indican el producto de un débil metamorfismo del vidrio volcánico. La textura, blastoporfirica. Los cristales relícticos de piroxenos monoclinicos y plagioclasas se encuentran diaclasados, fracturados hasta rotos y con alteraciones como la sericitización, cloritización, etc.

#### **CONCLUSIONES.**

El macizo Sierra del Purial está representado por rocas producto del metamorfismo regional de T bajas a moderadas y P moderadas a altas, evidenciando un metamorfismo de alta presión.

Los principales tipos de rocas que afloran en este macizo son:

- Anfibolitas
- Esquistos de diferentes paragénesis minerales y grado de metamorfismo
- Mármoles
- Eclogitas y
- Rocas débilmente metamorfizadas.

Las estructuras de estas rocas son variadas en dependencia de la composición mineralógica y su distribución espacial, pudiendo ser: orientadas y no orientadas.

Las texturas mas comunes son la nematoblástica, nematogranoblástica, lepidogranoblástica, granoblástica, porfidoblástica, relíctica, entre otras.



Los minerales indicadores del metamorfismo regional son: clorita, glaucofana, estilpnomelano, minerales del grupo de la Epidota (zoicita, clinozoicita y epidota), actinolita, talco, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Hernández, M. Margarita. 1979. Datos preliminares sobre las características petrográficas de las rocas del Macizo Sierra del Purial, provincia de Guantánamo. Vol.5, No.2, pp 5-9. Revista La minería en Cuba, Ciudad de la Habana,
- Hernández, M. Margarita. 1983. Sobre la presencia de ilmenita en las rocas metamórficas de la Sierra del Purial. Vol.1, 1983, pp 3-7. Revista Minería y Geología.
- Hernández, M. Margarita. 1985. Algunas particularidades petroquímicas de las metavulcanitas del complejo metrófico de la Sierra del Purial. Vol.3,1985,pp 7-11. Revista Minería y Geología.
- Hernández, M. Margarita. 1987. Zonación metamórfica de la de la Sierra del Purial. Vol.3,1987, pp 3-5. Revista Minería y Geología.
- Hernández, M. Margarita. 1988. Petrografía y Petroquímica de las rocas metamórficas del macizo Sierra del Purial, provincia de Guantánamo. Tesis en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Geológicas y Mineralógicas, 200 pp.
- Hernández, M. Margarita. 1984. Análisis comparativo de las anfibolitas presentes en la zona de Macambo y La Tinta, Sierra del Purial. Vol.1,1984,pp 12-16. Revista Minería y Geología.



## GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZAS (REE, HFSE) DE ROCAS VOLCÁNICAS MÁFICAS CRETÁICAS EN CUBA ORIENTAL: IMPLICACIONES PALEOTECTÓNICAS

C. Marchesi (1), J.A. Proenza (2), F. Gervilla (1), C.J.Garrido (1), R. Díaz-Martínez (3), A. Rodríguez-Vega (3), J. Blanco-Moreno(3)

(1) Universidad de Granada

(2) Universitat de Barcelona

(3) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

En la parte oriental de Cuba existen varios afloramientos de rocas volcánicas Cretácicas que han sido agrupadas en las denominadas formaciones Téneme, Quibiján, Santo Domingo y Turquino, y en las metavolcanitas del "Complejo Purial". El estudio de estas rocas volcánicas es crucial para cualquier modelo de placas tectónicas que intente explicar el origen y evolución del volcanismo Cretácico en las Grandes Antillas. En este trabajo presentamos los resultados de un estudio geoquímico de las rocas volcánicas basálticas de las formaciones Téneme, Quibiján (en su sección tipo: a lo largo de los ríos Quibiján y Barbudo), y de varios afloramientos de basaltos dentro del Macizo ofiolítico Moa-Baracoa (zonas de Morel, Duaba, Centeno y La Melba). También se ha analizado un metabasalto del "Complejo Purial" tomado en la Loma de la Farola, así como muestras de cuerpos masivos de diabasas en la zona de Guamuta (extremo oeste del Macizo ofiolítico Mayarí-Cristal), y de diques de diabasa del denominado Complejo Cerrajón. De acuerdo a sus características geoquímicas, las rocas volcánicas basálticas estudiadas pueden ser agrupadas en los siguientes tipos:

**(1) Tholeiítas de arco pobres en Ti y con afinidad boninitica** (Fm. Téneme): Estas rocas presentan contenidos de  $\text{TiO}_2 < 0.53 \text{ wt.}\%$ , y una marcada anomalía negativa de Nb con respecto al Th y al La sobre un diagrama *spider* normalizado al N-MORB. Los patrones normalizados de REE están ligeramente enriquecidos en LREE, y empobrecidos en MREE y HREE con respecto al N-MORB, también los HFSEs están muy empobrecidos con respecto al N-MORB. En un diagrama Cr vs. Y las rocas basálticas de Téneme siguen el vector de cristalización de las boninitas ricas en Ca.

**(2) Tholeiítas de arco** (Fm. Quibiján, y zona de Duaba, y Purial): Estos basaltos presentan, en general, mayores contenidos de  $\text{TiO}_2$  (0.53-0.9 wt.%) e Y que las rocas de Téneme. Sin embargo, al igual que en éstas, los patrones normalizados de REE están ligeramente enriquecidos en LREE y empobrecidos en MREE y HREE con respecto al N-MORB. En un diagrama Cr vs. Y siguen el vector de cristalización de los basaltos de arcos de islas. La muestra analizada del "Complejo Purial" presenta características geoquímicas muy similares a las de los basaltos de Quibiján, sugiriendo que el protolito de este metabasalto pudo ser un basalto similar a los de la Fm. Quibiján.

**(3) Basaltos de cuenca de trasera de arco: BABB** (zonas de Morel, La Melba y Centeno). Estos basaltos tienen altos contenidos de  $\text{TiO}_2 > 1.3 \text{ wt.}\%$  y presentan patrones normalizados de REE planos, similares al de los N-MORB, y una ligera anomalía negativa de Nb con respecto al Th y al La en un diagrama *spider* normalizado al N-MORB. Sobre un diagrama Th-Hf/3-Nb/16 las muestras de Morel, la Melba y Centeno se proyectan en el campo de los BABB.

Por otra parte, las muestras de diabasas de la zona de Guamuta y del Complejo Cerrajón muestran patrones de REE planos, con un ligero empobrecimiento en REE con respecto a N-MORB. Los diagramas *spider* normalizados al N-MORB exhiben una fuerte anomalía negativa en Nb típica de ambiente de arco volcánico.

El diagrama Zr/Yb vs. Nb/Yb refleja que todas las rocas analizadas sólo registran contribución geoquímica de un manto fuente relativamente empobrecido o de un manto tipo N-MORB, sin ninguna evidencia de contribución de E-MORB o OIB. Las muestras de Téneme, Quibiján, Duaba y Purial presentan altos contenidos en Th asociado con un manto fuente de arco. En cambio, los basaltos de Morel, La Melba y Duaba tienen un bajo componente de subducción, y en un diagrama



Th/Yb vs. Nb/Yb siguen la secuencia del manto (*mantle array*). Finalmente, las muestras de diabasas de Guamuta y Cerrajón presentan valores intermedios de Th/Yb. En conclusión, nuestros datos sugieren que el volcanismo de Téneme, Quibiján y Duaba es representativo de arcos de islas primitivos (IAT). En este contexto, el volcánismo de Téneme pudo formarse en una cuenca de *forearc*. Tholeiítas con afinidad boniníticas como las de la formación Téneme se encuentran generalmente en los estadios iniciales de la subducción en región de *forearc*. Por otra parte, los basaltos de Quibiján y Duaba podrían corresponder a una zona más axial del arco de islas oceánico o una cuenca de trasarco juvenil. En cambio, los basaltos de Morel, La Melba y Centeno son representativos de un volcanismo de cuenca de trasarco evolucionada: su signature geoquímica es, por ejemplo, similar a los basaltos de la cuenca de la trasarco de las Marianas.



## **PARTIAL MELTING AND METASOMATISM IN A SUBDUCTION SYSTEM (SIERRA DEL COVENTO MÉLANGE, EASTERN CUBA) 2. GEOCHEMISTRY**

Concepción Lázaro Calisalvo(1), Antonio García-Casco(1), Jesús de la Rosa (2), Kenya Núñez Cambra(3), Antonio Rodríguez Vega(4), Guillermo Millán(3), Manuel Iturralde-Vinent(5)

(1) *Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, Fuentenueva s/n, 18002-Granada, Spain.*

(2) *Departamento de Geología, Universidad de Huelva, Campus del Carmen, 21007-Huelva, Spain.*

(3) *Instituto de Geología y Paleontología, Via Blanca y Carretera Central, La Habana, Cuba.*

(4) *Instituto Superior Minero-Metalúrgico, Departamento de Geología, Las Coloradas de Moa, Holguín, Cuba.*

(5) *Museo Nacional de Historia Natural, Obispo no. 61, Plaza de Armas, La Habana 10100, Cuba.*

The Sierra del Convento serpentine-melange (Eastern Cuba) is composed by a variety of high pressure metamorphic rocks, including amphibolites, blueschists, metatrandhjemites and pegmatites. The more abundant rock type is amphibolite which generated leucocratic rocks (metatrandhjemites) after partial melting. Major element geochemistry data of the amphibolites range from basaltic to picro-basaltic compositions in the TAS diagram. The picro-basaltic compositions correspond to residual amphibolitite. The trace element abundance of metabasites resembles NMORB, except for variable LILE enrichment. These chemical features are typical of basaltic rocks that have been affected by seafloor alteration. Flat HREE and slightly depleted LREE patterns show NMORB signature. However some samples have LREE enrichment and fractionated REE patterns that can be interpreted as EMORB signature. The leucocratic rocks are intermediate to acid (andesite, dacite and rhyolite) and trondhjemitic to tonalitic in composition. Field relationships and geochemical signatures of these leucocratic rocks suggest that they are not oceanic plagiogranite formed after differentiation of MORB at oceanic ridges, but the product of partial melting of the amphibolites. REE patterns are fractionated ( $1 < (La/Yb)_n < 5.62$ ), with LREE enrichment and flat or slightly depleted HREE patterns that compares with trondhjemitic-tonalitic and adakitic melts formed after partial melting of mafic material at moderate to high pressure. Indeed, the leucocratic rocks of Sierra del Convento have the same geochemical features of Mesozoic-Cenozoic adakites of worldwide volcanic arcs:  $SiO_2 > 56\%$ ,  $3.5\% < Na_2O < 7.5\%$ ,  $(K_2O/Na_2O) \approx 0.42$ ,  $Mg\# \approx 0.5$ ,  $Ni = 20-40$  ppm,  $Cr = 30-50$  ppm, LREE enrichment, HREE depleted, high  $La/Yb$  and  $Sr/Y$ . Spider diagrams of these rocks show HFSE depletion but variable LILE contents, suggesting that metasomatism triggered by infiltrating LILE-bearing fluids affected the parental amphibolitic material during partial melting. In agreement with major and trace element geochemistry, the Sr-Nd isotope systematics of selected samples of amphibolite-trondhjemite-pegmatite can be conceptualized within a two stage model implying a) hydrothermal-ocean floor alteration of MORB and b) partial melting of subducted MORB assisted by metasomatizing fluids. Metasomatism is known in other Mesozoic subduction system of the Caribbean realm (e.g., Hispaniola), but it seems that attainment of conditions appropriate for partial melting and formation of "adakitic" magmas is a unique feature of Eastern Cuba mélanges.



## PATRON DE CLASIFICACION DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS DE LA REGION ORIENTAL DE CUBA

**Iris Méndez Calderón<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Empresa Geominera Oriente, Carretera de Siboney Km 2 1/2, Alturas de San Juan, Santiago de Cuba, Cuba, E-mail: imendez@geominera.co.cu

### RESUMEN

Existen diversidades de nomenclaturas para la descripción de las Rocas Volcánicas y Volcanoclásticas en Cuba.

Este trabajo estandariza la nomenclatura de las rocas de origen de arco volcánico de Cuba Oriental, utilizando patrones internacionales establecidos por la IUGS: Diagrama QAPF de Streckeisen, 1976, según Le Maitre 1988. Diagrama TAS de Le Bas et al 1986, y para las volcanoclásticas también propuestas del Servicio Geológico Británico.

Este trabajo se sustenta en la generalización de la información existente.

Las principales conclusiones son:

**Según Diagrama QAPF:** las rocas tienen composición normativa definida en los campos de Basaltos, Andesitas, Dacitas y escasamente en los campos de Riodacitas y Riolitas, tienen composición mineralógica modal: plagioclasa-cuarzo, poco desarrollo de feldespato alcalino, y ausencia de feldespatoideos.

Basaltos y Dacitas se corresponden con el patrón internacional, con tendencia en Andesitas Basálticas y Andesitas de desplazarse hacia las Dacitas por aumento del cuarzo normativo; Riolitas y Riodacitas se desplazan hacia las Dacitas por disminución del feldespato alcalino en la norma.

**Según Diagrama TAS:** las rocas de la Sierra Maestra y Holguín se ubican en los campos de todas las composiciones químicas normales y en traquitas de composición básica a intermedias, debido a procesos metasomáticos; en Mayarí Baracoa las rocas cretácicas caen en los campos desde basaltos a dacitas y las del paleógeno en los campos de las andesitas basaltos y andesitas.

Las rocas piroclásticas tienen gran desarrollo y diversidad, y son desde aglomeráticas hasta tobas de ceniza fina, y mayormente diferenciadas en composición en Holguín y en la Sierra Maestra.

### ABSTRACT

Diversities of nomenclatures exist for the description of the Volcanic Rocks and Volcanoclastic in Cuba.

This work standardizes the nomenclatures of the rocks of origin of volcanic arc of eastern Cuba, using international patterns settled down by the IUGS: Diagram QAPF Streckeisen, 1976, according to Le Maitre 1988. Diagram TAS of Le Bas et al at the 1986 and for the volcanoclastics also proposals of the British Geologic Service.

This work is sustained in the generalization of the existent information.

The main conclusions are:

According to Diagrama QAPF: the rocks have normative composition defined in the fields of Basalts, Andesites, Dacites and scarcely in the fields of Riodacites and Riolites, they have modal mineralogical composition: plagioclase-quartz, little development of alkaline feldspar, and feldspatoids absence.

Basalts and Dacites belong together with the international pattern, with tendency in Basaltic Andesites and Andesites of moving toward the Dacites for increase of the normative quartz; Riolites and Riodacites move toward the Dacites for decrease of the alkaline feldspar in the norm.

According to Diagram TAS: the Sierra Maestra rocks and Holguín are located in the fields of all the normal chemical compositions and in traquites of basic composition to intermediate, due to processes metasomáticos; in Mayarí Baracoa the cretaceous rocks falls in the fields from basalts to dacites and those





of the paleogen in the fields of the andesites basalts and andesites. The piroclastics rocks has great development and diversity, and they are from aglomeratics until tufts of fine ash, and mostly differed in composition in Holguín and in the Sierra Maestra.

## INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo contribuir al Sistema de Clasificación de las Rocas Cubanas, con vistas a la estandarización de su nomenclatura, por lo que representa un aporte en este sentido al Servicio Geológico Nacional.

La estandarización se realiza utilizando los sistemas de nomenclatura internacional, por lo que se actualiza y modifica la nomenclatura actual, además se brindan las particularidades de los litotipos de origen volcánico y volcanoclásticos que se desarrollan en el territorio de Cuba Oriental en los principales ambientes que le son característicos.

La clasificación tiene en cuenta la composición química de las rocas volcánicas, y sus características petrográficas; para las rocas volcanoclásticas se tiene en cuenta los % de material volcánico con respecto al sedimentario y el tamaño de los componentes.

El material consultado responde a las exigencias para este tipo de trabajo, ya que se cuenta con la representatividad necesaria para cada tipo de roca.

## MATERIALES Y METODOS.

Para la realización de este trabajo se han utilizado los diferentes estudios de Levantamientos Geológicos, Prospecciones, Trabajos Temáticos, y Artículos que contienen información sobre esta temática, además de Bases de Datos petrográficas y de análisis químicos existentes en la Empresa Geominera Oriente.

Se han utilizado los diagramas de clasificación orientados por la Unión Internacional de Sociedades Geológicas (IUGS), los cuales tienen en cuenta la clasificación mineralógica modal diagramas QAP (fig.1,3,5,7) y los diagramas TAS (fig.2,4,6,8) que relaciona la sílice/álcalis total para las rocas volcánicas, y para las rocas volcanoclásticas se utilizaron las clasificaciones que relacionan el tamaño de los fragmentos y el contenido en % del material piroclástico (Tablas de la 1-5).

La construcción del diagrama QAP, se realizó teniendo en cuenta los análisis químicos de silicatos completos, y a partir de ellos se calcularon los minerales normativos, los cuales fueron ploteados en dicho gráfico, por lo cual sus resultados son de carácter orientativo, al no contarse con minerales reales, este procedimiento puede ser utilizado teniendo en cuenta los criterios de Streckeisen, 1967.

Con la información recopilada se realizó una generalización por regiones: Sierra Maestra, Mayarí-Baracoa y Holguín por litotipo de roca, adaptándose las diferentes clasificaciones usadas a los patrones internacionales propuestos por la IUGS que relacionamos anteriormente.

Se utilizó la información de las bases de datos de los análisis químicos los cuales se procesaron con el programa Newpet con vistas a la ejecución de los diagramas QAP y TAS.



Para definir problemas texturales y de % de contenidos con vistas a definiciones litológicas se revisaron secciones delgadas.

## RESULTADOS

### ROCAS DEL ARCO VOLCANICO PALEOGENO EN LA REGION DE LA SIERRA MAESTRA.

Desde el punto de vista petrográfico las rocas volcánicas de la región han sido denominadas como: Basaltos, Andesita-Basaltos, Andesitas, Andesita-Dacitas, Dacitas, Riodacitas y Riolitas.

Estas rocas están presentes tanto en facies estratificadas, como formando diversos cuerpos subvolcánicos de diferente denominación como diques, stocks, necks, sills, cuerpos extrusivos, etc.

Teniendo en cuenta la clasificación QAPF según Strekeisen, 1979 en Le Maitre 1989 estas rocas se clasifican en:

- Rocas Andesito-Basálticas
- Rocas Riolito-Dacíticas

Las rocas denominadas petrográficamente como basaltos caen en el campo 10, las andesito-basaltos en los campos 5, 9 y 10; las andesitas en el campo 5 y 10; las dacitas en el campo 5; las riodacitas en el campo 4 y 5 y las riolitas en el campo 4, raramente muestras de riodacitas caen en el campo 3b.

De acuerdo a la ubicación de estas muestras en el gráfico QAPF son rocas con predominio de las fases mineralógicas plagioclasa-cuarzo, con poco desarrollo de feldespato alcalino tanto en los fenocristales como en la masa principal. Las mismas no contienen feldespatoideos.

Teniendo en cuenta la clasificación TAS de Le Maitre 1989, las rocas de la región tienen una distribución fundamental en los campos de basaltos (B), andesita-basalto ( $O_1$ ), andesita ( $O_2$ ), dacita ( $O_3$ ) y riolita ®; existiendo algunos especímenes en el campo de las traqui-andesitabasalto ( $S_2$ ) y más raramente en el campo de las traquiandesita ( $S_3$ ) y traquidacita (T).

La alcalinidad de estas rocas está definida tanto por el contenido de  $Na_2O$  como por el contenido de  $K_2O$ , petrográficamente estas rocas no presentan diferencias de sus homólogas de alcalinidad normal, y están presentes fundamentalmente en la parte más Oriental del Arco Volcánico de la Sierra Maestra.

No hay presencia de rocas volcánicas con alto contenido de magnesio.

Las Rocas Volcanoclásticas son las de mayor difusión y desarrollo en esta región, se llevaron a las clasificaciones propuestas por la IUGS, contenidas en las tablas adjuntas para este tipo de rocas.

### Características petrográficas de los grupos de rocas.

**Basaltos.** Son muy abundantes en la región, son rocas afaníticas y amigdaloidales donde se



destacan los fenocristales de plagioclasas fundamentalmente, escasamente son vesiculares.

La fase mineralógica más desarrollada tanto como fenocristales como en la masa principal son las plagioclasas, el clinopiroxeno se presenta subordinadamente como fenocristal y en la masa principal, la composición determinada en algunas muestras es de augita y piegonita; la hornblenda basáltica y el ortopiroxeno se presentan muy raramente; el olivino como fase mineralógica presente solo ha sido reportada por Pol Gyarmati en contribución a la Geología de Cuba Oriental.

En los basaltos la masa principal está formada principalmente por plagioclasa y metálico, subordinadamente por clinopiroxeno, clorita y vidrio, estando presente escasamente esfenaleucoxeno, óxidos e hidróxidos de hierro y apatito.

El metálico por lo general es magnetita presentándose como microfenocristales, granos y disseminaciones.

Las alteraciones que más afectan a los basaltos son la cloritización, sericitización, oxidación, prehnitización y carbonatización.

**Andesitas basálticas** son rocas menos abundantes que las anteriores, la fase mineralógica más desarrollada y común es la plagioclasa que presenta características similares a los basaltos, los clinopiroxenos están como fase mineralógica subordinada, tanto en fenocristales como en la masa de la roca, la hornblenda y el olivino están presentes raramente y este último fue reportado por Pal Gyarmati.

La textura de la masa principal es menos variada que en los basaltos, pero predomina la intersertal y pilotaxítica.

Los componentes de la masa principal y las alteraciones son similares a los basaltos.

**Andesitas** son rocas muy comunes y están desarrolladas en todo el corte del Arco Paleógeno y son las más abundantes en la composición de los cuerpos subvolcánicos, en ellas predomina la fase mineralógica plagioclasa tanto en fenocristales como en la masa, el clinopiroxeno y la hornblenda son elementos escasos y raros en la roca.

La plagioclasa se presenta zonada en ocasiones, de composición andesina a labrador, con procesos de desanortización y albitización.

Estas rocas se caracterizan por texturas variadas en su masa principal, predominando la intersertal, pilotaxítica y microlítica.

Son rocas muy afectadas por los procesos de alteración.

### **Grupo Dacita-Riolita**

De este grupo la más abundante son las riodacitas, sus coloraciones son claras, del blanco al gris con tonalidades verdosas, violáceas y raramente cremas.



Predominan en ellas los fenocristales de plagioclasas ácidas, siendo rara la presencia del cuarzo en las dacitas y aumentando su rol hacia las riolitas, el máfico prácticamente está ausente y esta representado por hornblenda, raramente se han observado fenocristales aislados de plagioclasa y cuarzo con intercrecimientos con feldespato potásico, se reporta en las riolitas la presencia en una muestra de feldespato potásico como fenocristal; la textura predominante de la masa principal es la felsítica, representada por agregados cripto a microfelsíticos generalmente, teniendo en cuenta el tamaño de los mismos, en las dacitas se mantienen texturas de las rocas del primer grupo, en las riodacitas se observan texturas perlíticas, los procesos de alteración pueden observarse en las tablas adjuntas.

### **Grupo de las rocas Piroclásticas.**

Presentan gran distribución y desarrollo en el territorio, por su granulometría van desde aglomerados y brechas piroclásticas a tobas de lapilli y de ceniza de grano fino y grueso; predominan las tobas de granulometría lapílica y de ceniza gruesa.

Se presentan masivas, con estratificación fina, laminadas y con características fluidales, tienen gradación normal e inversa y se presentan desde pobremente clasificadas a bien clasificadas. Su composición es variada desde basálticas a riolíticas, también de composición mezclada. Por lo general están alteradas y con procesos fuertes de intemperismo y oxidación.

En estas rocas en ocasiones se observa la presencia de foraminíferos planctónicos formados por material volcánico y silíceo.

### **Rocas Ignimbríticas o Ignimbrítoides.**

Se describen en áreas de la Gran Piedra y en el Campo Mineral El Cobre, donde son muy características.

Se observan en las muestras, afloramientos y secciones delgadas los lentes vítreos en forma de llamas o lenticulares, por su granulometría corresponden a tobas lapílicas o de cenizas gruesas, con composiciones andesíticas, dacíticas y riodacíticas.

### **Grupo de la tufitas**

En la región están presentes y con gran desarrollo las brechas tobáceas y areniscas tobáceas, escasamente se observan mudstone tobáceos.

**Areniscas tobáceas.** Se presentan masivas, estratificadas y con laminación.

Representan una mezcla de material piroclástico y epiclástico frecuentemente con fauna y material calcáreo formando el cemento en parte o completamente.

## **ROCAS DEL AIV DEL CRETÁCICO EN LA REGION MAYARI-BARACOA.**

### **Grupo de las Rocas Volcánicas**

La actividad magmática efusiva esta representada por basaltos, andesita basaltos, andesitas y dacitas, las cuales se encuentran con desarrollo limitado, prevaleciendo las rocas básicas a intermedias.



Según la composición normativa de estas rocas en el gráfico QAP (fig. 3) estas son esencialmente cuarzo plagioclasas, con poco contenido de feldespato alcalino en la composición modal, existiendo un desplazamiento de las mismas hacia el campo (5) de las dacitas, por su enriquecimiento en cuarzo normativo, ya sea por un proceso primario o debido a las alteraciones.

Según el diagrama TAS (fig. 4), las rocas se ubican en sus campos correspondientes, existiendo solo un caso de desplazamiento en las andesitas basaltos debido a los procesos de albitización a que están sometidas.

Teniendo en cuentas la relación de SiO<sub>2</sub> con los álcalis son rocas subalcalinas

**Basaltos y Andesitas Basaltos.** Se presentan masivas, fracturadas, amigdaloidales y porfíricas.

Según la abundancia y distribución de los fenocristales tienen texturas afíricas, oligofíricas, porfíricas y glomeroporíricas, con tamaños seriados y de dos generaciones, se observan listones de plagioclasas y clinopiroxenos como fase cristalina intermedia entre los fenocristales y los microlitos. La fase mineralógica prevaleciente en los fenocristales es la plagioclase, escasamente el clinopiroxeno. La masa principal presenta texturas intersertal, intergranular, variolítica, microlítica orientada, pilotaxítica, e hialopilitica, por lo general estas texturas se presentan combinadas. El metálico se observa como disseminaciones y en forma esquelética, ésta última ligada a las variolas, las cuales están constituidas por clinopiroxenos.

**Andesitas.** Son de coloración gris, con tonalidades verdosas y parduscas, compactas, fracturadas en ocasiones, masivas, porfíricas y amigdaloidales, están afectadas por procesos de alteración. Los fenocristales son de plagioclasas, la masa formada por microlitas de plagioclasas con texturas pilotaxítica e intersertal, las amígdalas están rellenas por prehnita y cuarzo.

**Dacitas,** Tienen coloraciones grises, son masivas, con fracturación, son porfíricas. Los fenocristales forman agrupaciones y son de plagioclasas de composición media, se observan escasos de clinopiroxenos, la masa principal tiene textura micropoiquilítica, peritítica, criptopertítica y esferulítica, formada por cuarzo y plagioclase, pudiendo existir la presencia de feldespato alcalino, pero es la plagioclase la que prevalece, el metálico forma microfenocristales y se encuentra también en forma de agujas incluidas en la masa de la roca.

### Grupo de las Rocas piroclásticas

**Tobas.** Estas dominan en el corte y están representadas por tobas de composición básica a intermedias mas raramente ácidas (fundamentalmente dacíticas), con granulometría de ceniza fina a lapílicas pero prevalecen la de ceniza gruesa a lapílicas, tienen texturas vítreas, vitrocristalinas, cristalolíticas y litocristalinas principalmente.

Tiene coloraciones cremas, gris oscuro, gris verdoso, verde claro, variando éstas de acuerdo al intemperismo y procesos de alteración. Las tobas de texturas vítreas presentan composiciones de andesitas-basaltos, andesitas-dacitas, andesitas, dacitas y excepcionalmente riodacíticas, raramente se observan de composiciones mezcladas.



Se observa en algunas muestras la presencia de foraminíferos planctónicos y radiolarios mal preservados.

Estas rocas están afectadas por procesos de ceolitización, anfíbolización, carbonatización, prehnitización, cloritización y presencia de sulfuros.

### **Grupo de las Rocas Tufitas.**

**Areniscas tobáceas.** Están constituidas por fragmentos de plagioclasas, clinopiroxenos, anfíboles, fragmentos oxidados de rocas efusivas, fragmentos calcáreos y organismos, en un cemento de poro y de contacto de naturaleza hidromicácea.

## **ROCAS DEL AIV PALEOGENO EN LA REGION MAYARI-BARACOA.**

### **Grupo de las Rocas Volcánicas**

Las rocas volcánicas descritas para la región están representadas por escasos mantos de basaltos, andesita-basaltos, andesitas y dacitas según diversos autores. En los trabajos realizados en el área por Méndez, I (1998), solo fueron mapeadas rocas volcánicas de composición andesita-basaltos y andesíticas.

Teniendo en cuenta la composición normativa de estas rocas en el gráfico QAP (fig. 5) las andesita-basaltos caen en los campos 9<sup>x</sup> y 10<sup>x</sup> correspondiente al campo de las andesitas y basaltos, las rocas andesíticas se desplazan al campo de las rocas dacíticas (campo 4) por un mayor contenido de cuarzo normativo.

Por el diagrama TAS (fig. 6) se ubican en los campos correspondientes a las rocas andesita-basaltos y andesíticas, lo cual se corresponde con sus características petrográficas.

**Andesita-Basáltica** Son rocas de color negro, presentan fenocristales de dos generaciones de plagioclasas, éstas se presentan zonadas y de composición básica, la masa principal posee una textura intersertal-hialopilitica, con menos desarrollo de la sub-ofítica, está formada por amígdalas, microlitos de plagioclasas, gránulos de clinopiroxenos, vidrio volcánico de color verde débilmente polarizante.

**Andesitas.** Tienen coloraciones gris oscuras, son porfíricas y amigdaloidales, se observan fenocristales fundamentalmente de plagioclasas, escasos de clinopiroxenos. Los primeros son de tamaños seriados, de composición media básica, la masa presenta una textura hialopilitica con partes pilotaxítica formada por microlitos de plagioclasas, metálico y vidrio volcánico oxidado color parduzco con índices menores al bálamo.

### **Grupo de las Rocas piroclásticas**

La componen fundamentalmente tobas y aglomerados tobáceos, las primeras tienen un gran desarrollo en la región, se presentan con granulometría de ceniza fina a lapílicas con composiciones desde basálticas a riolíticas pero predomina la composición en el rango de las andesitas-dacitas y prevalecen las texturas vítreas y vitroclásticas.





**Tobas vítreas y vitroclásticas.** Tienen coloraciones verde gris, gris, cremas, verdes parduscas, blancas y blanco gris. Ellas se distinguen por diferentes aspectos estructurales: compactas, masivas, ligeras, deleznales, estratificadas, en ocasionadas laminadas, en estas tobas hay presencia de organismos planctónicos, radiolarios y espículas de esponjas.

El material vítreo se encuentra transformado a minerales arcillosos (procesos de argilitización), desarrollándose fuertemente los minerales del grupo de la montmorillonita en algunas localidades y también con procesos fuertes de zeolitización.

Se observan además cristales de plagioclasa de composición básica-media zonadas, clinopiroxenos, anfíboles, cuarzo y fragmentos líticos de efusivos básicos, todos de origen volcánicos.

Aparecen tobas vítreas lapílicas muy características por su bajo peso, con fragmentos vítreos de hasta 1 cm que transicionan a rocas aglomeráticas y presentan una composición andesítica.

### **Grupo de las rocas Tufitas**

**Aglomerados tobáceos.** Son típicos para el corte de la región, anteriormente se denominaban como brecha conglomerática. Se presentan masivas hasta con estratificación visible, tienen tonalidades verdosas y amarillentas.

Están formados por fragmentos sub-angulares a redondeados de tobas, efusivos básicos a medios con incorporación de fragmentos calcáreos, el cemento es tobáceo, deleznable del tipo de contacto y basal, presenta una composición andesítica-basáltica.

### **ROCAS DEL AIV DEL CRETÁCICO EN LA REGION DE HOLGUIN.**

En esta parte están representadas rocas volcánicas y volcanoclásticas con gran propagación y desarrollo pero muy afectadas por la tectónica.

Teniendo en cuenta la composición normativa de estas rocas en el gráfico QAP (fig.7) los basaltos caen en su campo, las andesitas basaltos se desplazan hacia el campo de las dacitas, las andesitas caen en su campo y en las dacitas, esto puede deberse a una mayor presencia de cuarzo normativo involucrado tanto por procesos primarios como secundarios, las dacitas se mantienen en su campo, las riodacitas y riolitas caen en el campo de las dacitas por su disminución en el contenido de feldespato alcalino en la norma.

En el diagrama TAS (fig. 8) todas las rocas caen en sus respectivos campos, existiendo en el caso de las andesitas una mayor difusión hacia el campo de las andesita basaltos producto de los procesos de alteración.

Existen casos de rocas que se desplazan hacia el campo de las rocas traquíticas, las cuales fueron reportadas durante los trabajos de levantamiento, debido a procesos metasomáticos sódicos.

### **Grupo de las Rocas volcánicas**

Estas rocas constituyen un complejo efusivo con composiciones desde básicas hasta ácidas, formando mantos, diques y cuerpos subvolcánicos.



**Basaltos.** El color dominante es gris, gris oscuro con tonalidades violáceas y verdosas, y según el grado de alteración pardas, se encuentran masivas, en almohadillas y amigdaloidales. Presentan texturas afiricas y porfíricas, los fenocristales son de plagioclasa comúnmente labrador, piroxenos con predominio de la augita y en ocasiones con olivino, ellas están afectadas por procesos de cloritización, argilitización, carbonatización, zeolitización y piritización, rara vez cuarcificadas.

**Andesita basáltica.** El color de estas rocas es gris pardusco, gris verdoso y gris oscuro, en ocasiones con tonalidades rojizas, violáceas y azuladas.

Estas rocas son porfíricas, llegando los fenocristales de plagioclasa hasta 15 mm de longitud, comúnmente presentan tamaños de 2-5 mm, la composición de la plagioclasa es andesina y labrador, los piroxenos son más pequeños de hasta 0.5 mm y predomina la augita, la textura de la masa principal es principalmente pilotaxítica, e intersertal. Están afectadas por procesos de cloritización, argilitización, carbonatización, zeolitización, piritización y silicificación.

**Andesitas.** Tienen colores grises y verdosos, con tonalidades violáceas y azulosas, son porfíricas, con fenocristales de plagioclasas, anfíboles y clinopiroxenos. Los fenocristales presentan tamaños generalmente de 0.5 mm, presentan texturas hialopilitica y pilotaxítica, presentan variedades piroxénicas, anfibólicas y cuacíferas.

**Andesitas y basaltos perlíticos** Son rocas porfíricas con la masa vítrea a veces amigdaloidales, presentan colores gris oscuro a negruzco, por análisis químicos su composición varían entre andesítica y basáltica

**Dacitas.** Tienen colores gris violáceos, gris crema, crema, blanco grisáceo, gris verde, crema blancuzca, en algunas partes contienen inclusiones intratelúricas y exógenas, presentan fenocristales de plagioclasa, anfíbol, biotita y cuarzo, en ocasiones el tamaño de las plagioclasas es de hasta 10 mm. Presentan variedades anfibólicas y biotíticas.

### **Grupo de las Rocas piroclásticas**

Están representadas por rocas tobáceas y aglomerados

**Tobas.** Tienen coloraciones grises, gris pardusco, pardas a veces verdosas con alternancias de tobas de cenizas finas hasta aglomerados.

Comúnmente son algo estratificadas, compactas, aisladamente orientadas, se presentan fuertemente alteradas y no están soldadas, tienen composiciones desde basálticas hasta riolíticas, con granulometría de cenizas finas a lapílicas, tienen texturas líticas, litocristalinas, cristalolíticas, vítreas, cristalovítreas, cristalinas, vitrocristalinas, litovítreas, vitrocristalolíticas, y otras combinaciones menos desarrolladas.

Estas rocas están afectadas por procesos de argilitización, ceolitización, y mas escasamente carbonitizadas.



## DISCUSION

Las rocas volcánicas prácticamente no tienen cambios en su clasificación original, solamente se eliminan los términos siguientes: dolerita, liparita, liparita-dacita, y los términos porfiritas y pórfidos en el nombre de la roca.

En el caso de las rocas volcanóclásticas éstas tienen cambios significativos, ya que existen variaciones en su nombre original, debido a las nuevas consideraciones para la clasificación litológica teniendo en cuenta la proporción entre el material piroclástico y el sedimentario, así como en las dimensiones de los fragmentos que la componen.

Estas rocas fueron clasificadas anteriormente teniendo en cuenta los criterios de las escuelas del antiguo campo socialista, por lo que si no existe la sección delgada o una descripción detallada de sus componentes se pueden cometer errores en su clasificación litológica.

Con la utilización de la nomenclatura actual se elimina un término muy usado en las rocas de esta región, que son las tufitas, desaparece el prefijo xeno en las tobas; se elimina el término vulcanomítico que representa el material volcánico redepositado, así como las fracciones pelítica, psamítica y de grava en las tobas.

En el caso de las tufitas estas pasan a la nomenclatura de tobas o rocas tobáceas, en dependencia de la proporción del material piroclástico, y las rocas tobáceas pueden pasar a sedimentarias si tienen menos del 25% de material piroclástico.

Teniendo en cuenta el tamaño de las partículas con la clasificación actual se simplifica la terminología.

Se incluyen las tobas pelíticas dentro de las tobas de cenizas finas, y las tobas aleuríticas caen dentro de las tobas de grano fino y grueso, las tobas psamíticas se incluyen dentro de las tobas de ceniza gruesa, las tobas de grava dentro de las lapílicas, y las tobas lapílicas caen en el mismo campo homónimo de la clasificación actual, las tobas aglomeráticas caen en el campo de las tobas lapílicas actuales o en los aglomerados o brechas piroclásticas.

Las hialoclastitas e ignimbritas mantienen su nomenclatura antigua teniendo en cuenta que responden a características texturales.

## CONCLUSIONES

**Según el Diagrama de QAPF** basado en Streckeisen, 1976, las rocas de la Región Oriental, tienen una composición normativa que está definida en los campos de Basaltos, Andesitas, Dacitas (campos 4,5,9,10) y escasamente en los campos de las Riodacitas y Riolitas (campos 3a y 3b)

Las rocas se caracterizan por la composición mineralógica modal: plagioclasa-cuarzo, poco desarrollo de feldespato alcalino, y ausencia de feldespatoideos.

Los Basaltos y las Dacitas se definen bien según el patrón internacional, pero hay una tendencia en la región en las rocas Andesitas Basálticas y Andesíticas de desplazarse hacia las



Dacitas por un aumento del cuarzo normativo; al igual de las Riolitas y Riodacitas de desplazarse hacia las Dacitas por la disminución del feldespato alcalino en la norma.

**Según el Diagrama TAS** de Le Bas et al 1986, las rocas de la región de la Sierra Maestra y Holguín se ubican en los campos de las composiciones químicas de basaltos, andesitas basaltos, andesitas, dacitas riolitas y traquitas de composición básica a intermedias, debido a procesos de alteraciones metasomáticas, para la región Mayarí Baracoa las rocas cretácicas se ubican en los campos desde basaltos a dacitas y las del paleógeno en los campos de las rocas andesitas basaltos y andesitas.

Las rocas piroclásticas tienen gran desarrollo y se presentan desde aglomeráticas hasta tobas de ceniza fina, y mayormente diferenciadas en composición en la región de Holguín y en la Sierra Maestra.

El grupo de las rocas tufíticas se presentan con gran distribución y prevalecen los Aglomerados y Areniscas tobáceas, las propiamente rocas denominadas como tufitas caen en las tobas y areniscas tobáceas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Gyarmati, P., et al 1983. Relaciones genéticas entre las rocas abísales, subvolcánicas y volcánicas de la Sierra Maestra en Contribución a la Geología de Cuba Oriental. Editorial Científica-Técnica IGP-ACC
- Méndez, I., et al . 1998. T.T.P. Estudio Petrológico de los A.I.V. de Cuba Oriental y algunas consideraciones de su metalogénia. Oficina Nacional de Recursos Minerales



**TABLA # 1. CLASSIFICATION AND NOMENCLATURE OF PIROCLASTS AND WELL-SORTED PYROCLASTIC DEPOSITS BASED ON CLAST SIZE (AFTER SCHIMD. 1981)**

Clast size in mm	Piroclast	Pyroclastic deposit	
		Mainly unconsolidated: consolidated: Tephra rock	Mainly pyroclastic
64  2  1/16	Bomb,block	Agglomerate bed of blocks or bomb, block tephra	Agglomerate Pyroclastic breccia
	lapillus	Layer,bed of lapilli or lapilli tephra	Lapilli tuff
	Coarse ash grain	Coarse ash	Coarse(ash) tuff
	Fine ash grain (dust grain)	Fine ash(dust)	Fine(ash) tuff

**TABLA # 2. TERMS TO BE USED FOR MIXED PYROCLASTIC-EPICLASTIC ROCKS (AFTER SCHMID, 1981)**

Average Clast size in mm	Pyroclastic	Tuffites (mixed pyroclastic- epiclastic)	Epiclastic (volcanic and/or nonvolcanic)
64	Agglomerate, Pyroclastic breccia	Tuffaceous conglomerate, Tuffaceous breccia	Conglomerate ,breccia
	Lapilli tuff		
	Coarse (Ash) tuff	Tuffaceous sandstone	Sandstone
		Tuffaceous siltstone	Siltstone
	Fine	Tuffaceous mudstone, shale	Mudstone,shale
<b>Amount Pyroclastic material</b>	100% to 75	75% to 25%	25% to 0%



**TABLA # 3 TERMINOLOGÍA DE ROCAS MIXTAS PIROCLÁSTICAS-EPICLÁSTICAS (SEGÚN SCHMID, 1981, MODIFICADO DE LE MAITRE, 1989). TOMADO DE R. CASTROVIEJO, 1998.**

Tamaño medio de clastos en mm	Roca piroclástica	Tufita (mezcla piroclástica-epiclástica)	Roca Epiclástica (volcánica y/o no volcánica)
64	Aglomerado, Brecha piroclástica	Conglomerado tufítico Brecha tufítica	Conglomerado, brecha
2	Toba de lapilli		
1/16	Gruesa Toba de cenizas	Arenisca tufítica	Arenisca
	Fina	Limolita tufítica	Limolita
1/256		Mudstone(carbonatada) o argillita tufítica	Mudstone argillita
Cantidad de material piroclástico	100% a 75%	75% a 25%	25% a 0%

**TABLA # 4 TERMINOLOGÍA DE ROCAS MIXTAS PIROCLÁSTICAS-EPICLÁSTICAS (SEGÚN SCHMID, 1981, EN LE MAITRE, 1989) .TOMADO DE R.CASTROVIEJO, 1998, MODIFICADO DE L.DÍAZ DE VILLALVILLA ET EL, 2003**

Tamaño medio de clastos en mm	Roca piroclástica	Tufita (mezcla piroclástica-epiclástica)	Roca Epiclástica (volcánica y/o no volcánica)
64	Aglomerado, Brecha piroclástica	Conglomerado tobáceo Brecha tobácea	Conglomerado, brecha
2	Toba de lapilli		
		Arenisca tobácea	Arenisca





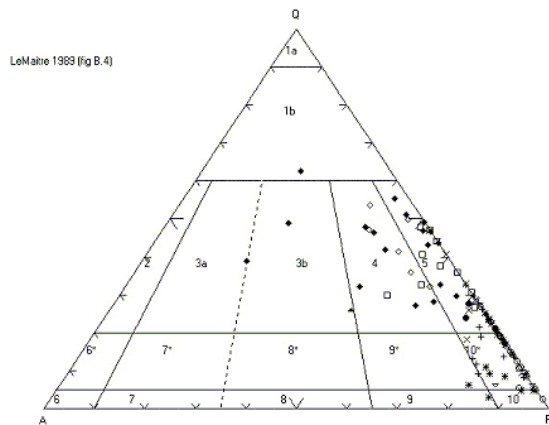
<b>1/16</b>	Gruesa Toba de cenizas	Limolita tobácea	Limolita
<b>1/256</b>	Fina	Mudstone(carbonatada) o argillita tobácea	Mudstone argillita
Cantidad de material 0% piroclástico	100% a 75%	75% a 25%	25% a

**TABLA # 5 CLASIFICACION DE ROCAS VOLCANOCLASTICAS CON CONTENIDO MAYOR DE 10% DE FRAGMENTOS VOLCÁNICOS (TOMADO DE GILLESPIE AND STYLES, 1999, BASADO EN SCHMID,1981)**

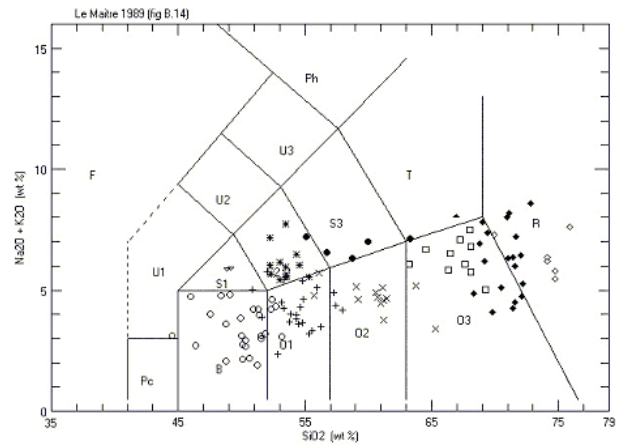
Tamaño medio de clastos en mm	Roca piroclástica	Tufita (mezcla piroclástica- epiclástica)	Roca Epiclástica (volcánica y/o no volcánica)
<b>64</b>	Aglomerado, Brecha piroclástica Toba de lapilli	Conglomerado tobáceo Brecha tobácea	Conglomerado, brecha
<b>2</b>		Arenisca tobácea	Arenisca
<b>1/16</b>	Gruesa Toba de cenizas	Limolita tobácea	Limolita
<b>1/256</b>	Fina	Mudstone(carbonatada) o argillita tobácea	Mudstone argillita
Cantidad de material 0% piroclástico	100% a 75%	75% a 25%	25% a



**Figura No 1 AQP SIERRA MESTRA**



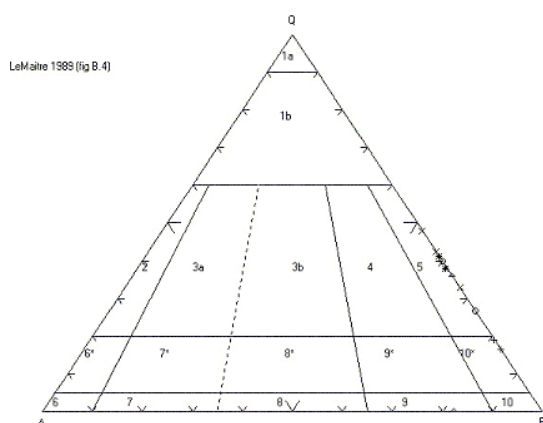
**Figura No 2. TAS SIERRA MAESTRA**



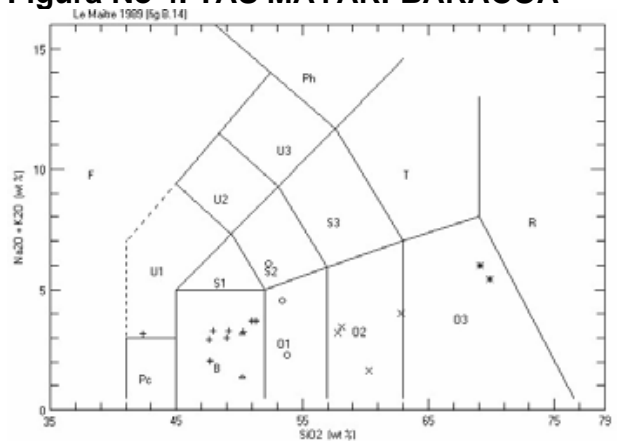
### SIMBOLOGIA

- |                    |                          |                  |
|--------------------|--------------------------|------------------|
| ◊ Basaltos         | ♦ Riodacita              | ● Traquiandesita |
| + Andesita-Basalto | ◊ Riolita                | ▲ Traquidacita   |
| × Andesita         | ✱ Traquibasalto          |                  |
| □ Dacita           | * Traquiandesita-Basalto |                  |

**Figura No 3 AQP MAYARI-BARACOA**



**Figura No 4. TAS MAYARI-BARACOA**

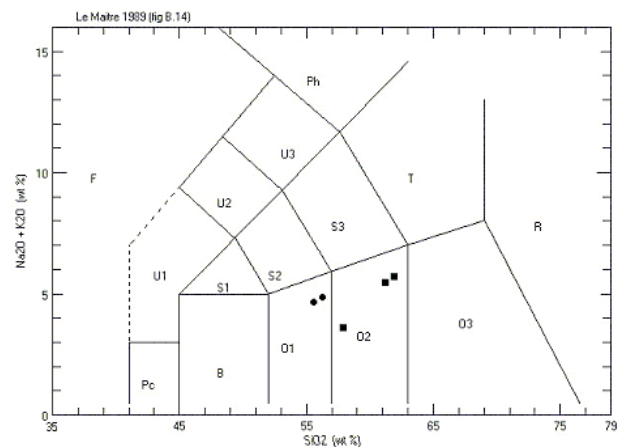
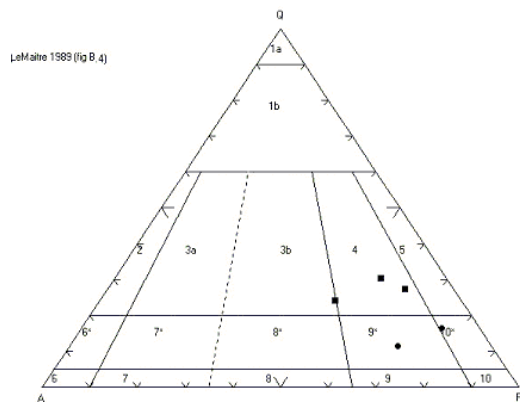




- + Basalto
- ◊ Andesita-Basalto
- × Andesita
- \* Dacita
- △ Diabasa

## PALEÓGENO

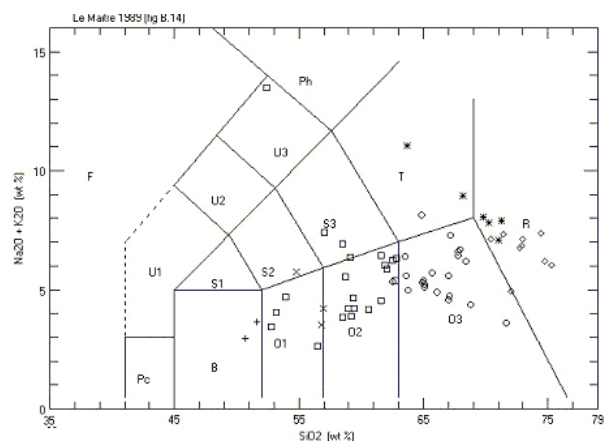
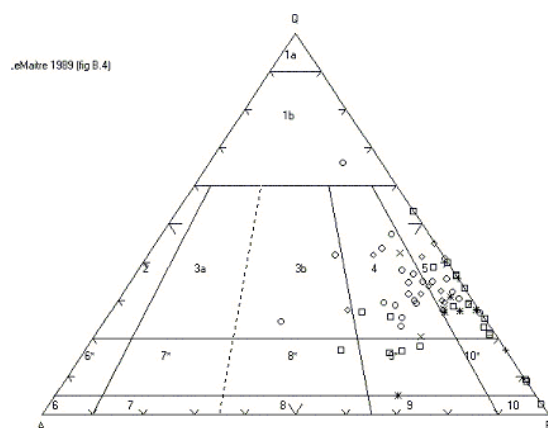
Figura No 5 AQP MAYARI-BARACOA Figura No 6. TAS MAYARI-BARACOA



- Andesita Basalto
- Andesita

Figura No 7 AQP HOLGUIN

Figura No 8. TAS HOLGUIN





- + Basalto
- × Andesita-Basalto
- Andesita
- ◊ Dacita
- \* Riodacita
- ◊ Riolita



## GEOQUÍMICA ISOTÓPICA Y GEOCRONOLOGÍA DE LA ROCA HOSPEDERA DE LA MINERALIZACIÓN DE Au±Cu PORFIRÍTICA DEL SECTOR LA UNIÓN, PROVINCIA DE CAMAGÜEY.

**Miriela Ulloa Santana** <sup>(1)</sup>, **Nilson Francisquini Botelho** <sup>(2)</sup>, **Márcia Abrahão Moura** <sup>(2)</sup>, **Jorge Alonso** <sup>(3)</sup>

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica, Vía Blanca y línea del ferrocarril s/n CP 11000. Ciudad de La Habana. Cuba. e-mail: [mmulloa@iacemi.cu](mailto:mmulloa@iacemi.cu)

(2) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro. Brasília-DF CEP: 70910-900.

(3) Empresa Geominera Camagüey

### RESUMEN

El sector La Unión es una de las nuevas áreas con posibilidades auríferas localizada en uno de los territorios más favorables para encontrar reservas de este metal, aquella porción del arco cretácico extendida por las provincias Ciego de Ávila, Camaguey y Las Tunas. La mineralización está hospedada en rocas de composición cuarzo diorita porfirítica de  $73 \pm 1,5$  Ma, que corta las rocas volcánicas y volcanoclásticas de la formación Guáimaro, de edad cretácico inferior. La edad de la diorita cuarcífera es semejante a las intrusiones identificadas en otro posible eje magmático de menor magnitud situado al sur del eje magmático principal del arco de isla Cretácico, considerado de gran potencial aurífero.

La diorita cuarcífera porfirítica está compuesta de fenocristales de plagioclasa y magnésiohornblenda con matriz holocristalina formada por plagioclasa, hornblenda y cuarzo. Valores positivos de  $E_{Nd}(T)$  y bajas razones iniciales de  $^{87}Sr/^{86}Sr$  indican el carácter primitivo de esta intrusión, con un manto empobrecido semejante a una fuente MORB, sin efecto de contaminación con una corteza continental más antigua.

### ABSTRACT

La Unión sector is one of the newest areas for gold prospecting in one of the most favorable regions to find new reserves of this metal, in the Cretacic arc belt stretched from Ciego de Ávila to Las Tunas provinces. The mineralization is hosted in a  $73,0 \pm 1,5$  Ma porphyry quartz diorite, which intrudes in volcanic and volcanoclastic rocks of the early Cretacic Guáimaro formation. The quartz diorite age is similar to those of probable magmatic belt placed south of the main magmatic axis of the Cretaceous magmatic arc, to which has been attributed a great potential for gold.

The porphyritic quartz diorite is composed by plagioclase and magnésiohornblende phenocrystals as well as plagioclase, hornblende and quartz forming an holocrystalline groundmass. Positive  $E_{Nd}(T)$  values and low initial  $^{87}Sr/^{86}Sr$  rates are indicative of a primitive source, like depleted mantle from MORB, without evidences of crustal contamination.

### INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo la caracterización de las rocas hospederas de la mineralización de Au±Cu del sector La Unión, utilizando datos de campo, petrográficos, geocronológicos y de geoquímica isotópica. Durante los trabajos de prospección realizados en el área, las rocas hospederas fueron clasificadas como granodioritas, muchas veces sobre la base de muestras alteradas y/o intemperizadas. En este trabajo no fue identificada ninguna muestra con esta composición, siendo la roca hospedera de la mineralización clasificada como diorita cuarcífera.



Los estudios geocronológicos y de geoquímica isotópica fueron los primeros realizados en el área, usados con el objetivo de caracterizar la naturaleza del magma asociado a la mineralización y su ambiente geotectónico.

Para el estudio fueron utilizadas muestras de los pozos PU-1 y PU-3, muestras de la zona del *stockwork* La Unión y muestras de afloramiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Todas las muestras estudiadas fueron seleccionadas de los pozos PU-1 y PU-3, realizados durante el proyecto de investigación dirigido por Alonso y colaboradores en el año 2001, colectadas para investigar la edad de cristalización de la diorita cuarcífera por el método  $^{235}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}$  en circón. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Geocronología del Instituto de Geociencias de la Universidad de Brasília (IG-UnB). El método U-Pb utilizado, propuesto por Krogh (1973) y Parrish (1987), fue adaptado a las condiciones del IG-UnB. Los contenidos de Sm y Nd fueron obtenidos por dilución isotópica, en espectrómetros de masas tipo Finnigan MAT 262 con fuente termal de ionización, en modo estático, usando *spiker* de  $^{149}\text{Sm}$  y  $^{150}\text{Nd}$ . La descripción detallada del procedimiento analítico adoptado se encuentra en Gioia y Pimentel (2000).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Características petrográficas

La roca hospedera de la mineralización de  $\text{Au}\pm\text{Cu}$  estudiado está representada por una diorita cuarcífera, donde fenocristales de plagioclasa y anfíbol están diseminados en una matriz holocristalina fina, formada por plagioclasa, cuarzo y poco anfíbol. Los minerales esenciales presentan las siguientes características:

La plagioclasa se encuentra generalmente preservada, en forma de fenocristales, con tamaño entre 0,2 a 1 mm y frecuentemente zonadas, tienen composición de labradorita-andesina, con núcleo de labradorita (An 52) (Fig. 1 a-b-c). Algunos granos están carbonatizados, saurizitados y epidotizados, en la matriz la plagioclasa tiene composición de andesina-oligoclasa.

El anfíbol ocurre como fenocristales con tamaños de 0,2 a 1mm, con pleocroísmo variando de verde claro a verde oscuro, pudiéndose clasificar genéricamente como hornblenda (Fig. 1 a-b-c). El cuarzo presenta hábito anhédrico y extinción ondulante diseminados en la matriz. Los minerales accesorios identificados son apatito, titanita, magnetita e ilmenita. Las principales alteraciones están constituidas por cuarzo, clorita, epidota, carbonato, zeolita. Magnetita y pirita son minerales comunes en la diorita cuarcífera hidrotermalizada con concentraciones de hasta 10%.

En la zona del *stockwork*, fueron identificados afloramientos aislados de basalto totalmente hidrotermalizados, siendo sericita, clorita, cuarzo y tremolita los principales minerales de alteración. En la muestra más preservada, que se encuentra aflorando en el área distante de la zona del *stockwork*, fue posible observar la textura porfírica seriada de estos basaltos, con una matriz micro-criptocristalina, fenocristales de olivino y piroxeno constituyendo los principales minerales máficos (Fig.1 d).



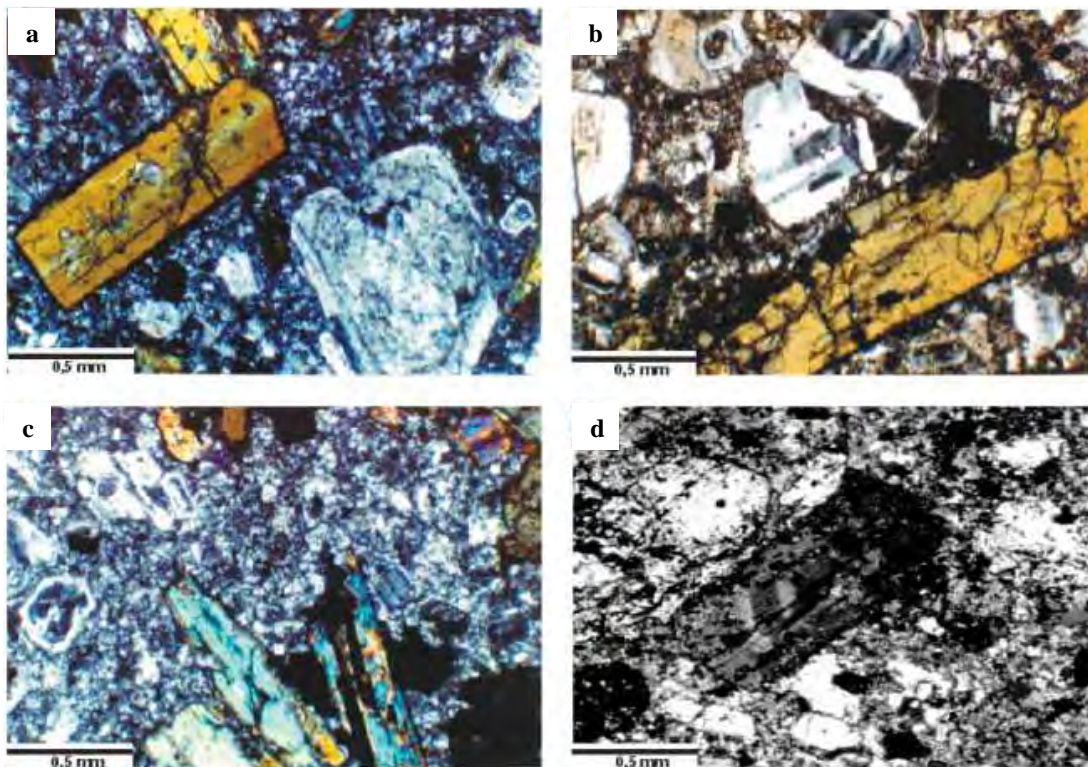


Figura 1- a-c) Fotografías mostrando los fenocristales de hornblenda y plagioclasa de la diorita cuarcífera porfirítica b) Fenocristales zonados de plagioclasa. d) Fenocristales de clinopiroxeno del basalto afectado por el *stockwork*.

### Geoquímica Isotópica Sm-Nd-Sr

Tres muestras representativas de la diorita cuarcífera porfirítica fueron seleccionadas para análisis isotópicos de Nd y Sr, en el Laboratorio de Geocronología del IG/UnB. Los resultados analíticos obtenidos se encuentran en la tabla I. Los altos valores de las razones  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  no permitieron el cálculo de la edad  $T_{\text{DM}}$ . Los valores  $E_{\text{Nd}}$  (T) y la razón  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  inicial fueron calculados por la edad de  $73,0 \pm 1,5$  Ma, obtenida por el método U-Pb en circón.

Los valores  $E_{\text{Nd}}$  (T=73 Ma), entre +6,68 y +7,49 y las bajas razones  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  iniciales entre 0,70358 y 0,70422 indican el carácter primitivo de esta intrusión, indicando que el magmatismo calco-alcálido cretácico de las rocas del sector La Unión presentan un carácter juvenil, y que el magma original fue derivado de un manto empobrecido, semejante a una fuente MORB, sin cualquier efecto perceptible de contaminación con una corteza continental más antigua.

Los resultados isotópicos fueron colocados en el diagrama  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , caen en la línea de evolución del manto, compatible con rocas formadas en ambientes de arco de islas del mundo, tales como: Marianas, Japón, Aleutas y el arco de isla de las Antillas Menores en el océano atlántico. La proximidad con el campo MORB indica el carácter primitivo de estos sistemas, como las muestras del sector La Unión (Fig. 2).

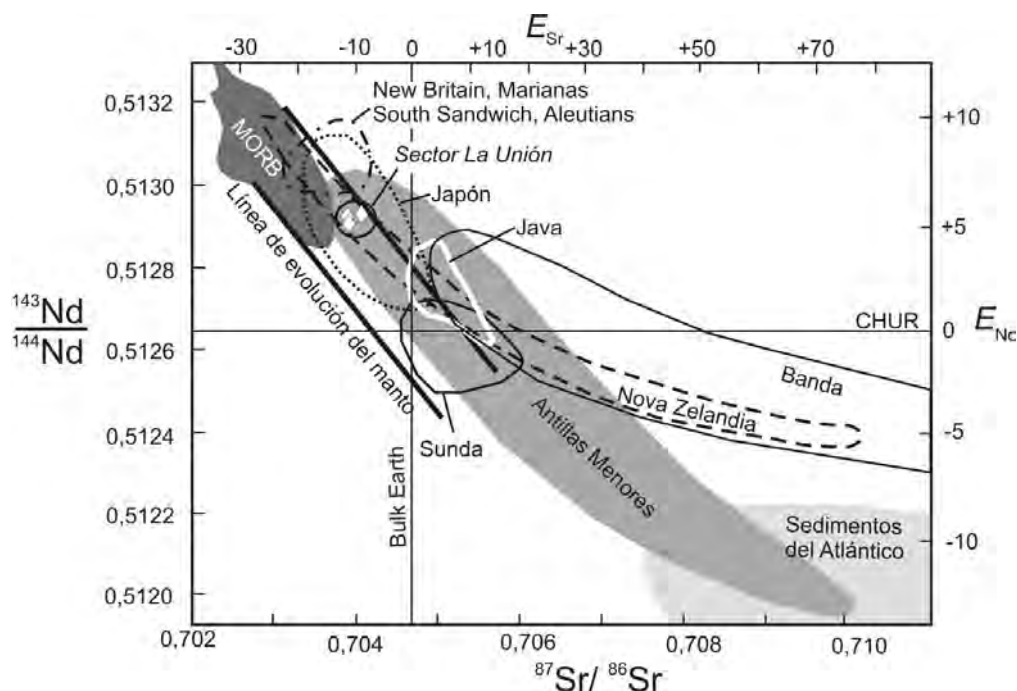


Figura 2- Razones isotópicas de Sr y Nd para las tres muestras analizadas del sector La Unión. Datos del gráfico tomados de Anculus & Powell (1986). Datos de los sedimentos del Atlántico de White et al. (1985).

### Edad U-Pb en circón

Todas las muestras utilizadas en este estudio fueron seleccionadas entre los pozos PU-1 y PU-3, para investigar la edad de cristalización de la diorita cuarcífera por el método U-Pb en circón. Solamente una población de circón fue reconocida en las muestras, constituida de cristales prismáticos, alargados, transparentes y de color rozado. Los datos U-Pb de la diorita cuarcífera del sector La Unión se encuentran en la tabla II. Solamente dos fracciones caen próximas a la curva concordia (Fig. 3). El intercepto superior de la regresión calculada dio un valor de  $73,0 \pm 1,5$  Ma. La edad de 73 Ma se sitúa entre las más jóvenes atribuidas a las rocas magmáticas del arco volcánico cretácico de Cuba, cuyas edades varían entre 70 y 96 Ma. En este aspecto, estas edades pueden representar los extremos apicales de los cuerpos del eje magmático principal u otro eje magmático de menor magnitud (Marí, T. 1997), al cual se le atribuye un mayor potencial perspectivo para oro.

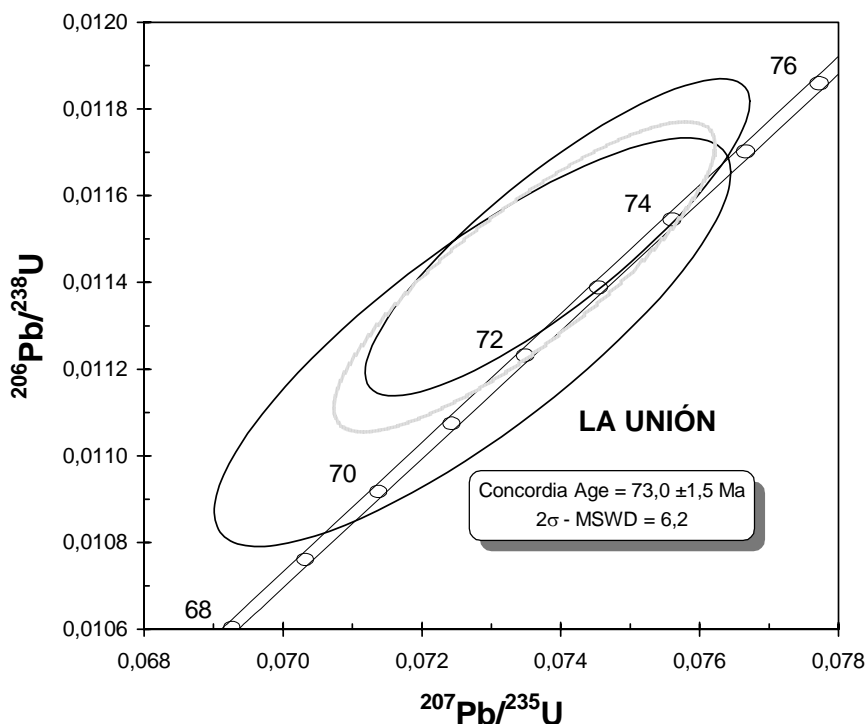


Figura 3- Diagrama Pb/U para la diorita cuarcífera hospedera de la mineralización del sector La Unión.

## CONCLUSIONES

La roca hospedera de la mineralización del tipo Au±Cu pórfiro del sector La Unión tiene una composición exclusivamente diorítica cuarcífera y no granodiorítica como se afirma en trabajos anteriores.

Estas rocas poseen un carácter primitivo y los isótopos de Nd y Sr indican que el magma original se derivó de un manto empobrecido semejante a una fuente MORB, sin cualquier efecto de contaminación con una corteza continental más antigua.

La edad de las intrusiones de dioritas cuarcíferas del sector La Unión,  $73,0 \pm 1,5$  Ma, está entre las más jóvenes relacionadas al magmatismo cretácico de Cuba Centro-Oriental. En este aspecto, estas edades pueden representar los extremos apicales de los cuerpos del eje magmático principal u otro eje magmático de menor magnitud, al cual se le atribuye un mayor potencial perspectivo para oro.



## BIBLIOGRAFIA

- Alonso, J., A. Barroso, R. Molina, C. Valle, P. Donet., 2001. Informe: Reconocimiento geológico para oro y otros metales en el sector Colombia – Barrueto. Provincia de Camagüey. Material Inédito. Archivo del Instituto de Geología y Paleontología: 54 p.
- Goia, S.M.C.L, M.M. Pimentel., 2000. The Sm-Nd isotopic meted in the Geochronology Laboratory of the University of Brasília. Anais da Academia Brasileira de Ciencias., 72: 219-245.
- Anculus, R. J., R. Powell., 1986. Source component mixing in the regions of arc magma generation. Journal of Geophys. Researche., 91: 5913-5926.
- Marí, T., 1997. Particularidades de los Granitoides de Ciego-Camaguey-Las Tunas y consideraciones sobre su posición dentro del arco de islas. Estudios Sobre Geología de Cuba. Centro Nacional de Información Geológica. 400-416

Tabla I. Resultados isotópicos de Sm- Nd y Rb-Sr de la diorita cuarcífera porfirítica.

Muestra	SiO <sub>2</sub> (%)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Sm (ppm)	Nd (ppm)	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd ± 2SE (0)	ε <sub>Nd</sub> (0)	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd(T)	ε <sub>Nd</sub> (T)	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr ± 2SE (0)	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr (T)
PU1 SD6	60,32	17	410,2	2,596	10,315	0,1522	0,512994+/-7	+6,95	0,51292	7,36	0,70371+/-2	0,70358
PU1 SD3	61,24	20,5	443,7	2,623	10,352	0,1532	0,513001+/-23	+7,08	0,51293	7,49	0,70436+/-8	0,70422
PU1 SD4	60,1	30,6	498,3	2,647	10,532	0,1519	0,512959+/-7	+6,27	0,51289	6,68	0,70378+/-2	0,70359

Tabla II. Resultados U-Pb en circón de la diorita cuarcífera porfirítica.

Muestra	Peso (mg)	U (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207*</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	(pct)	<sup>206*</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	(pct)	Coef. Correl.	<sup>207*</sup> Pb/ <sup>206*</sup> Pb	(pct)	Edad <sup>206*</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	Edad <sup>207*</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	Edad <sup>207*</sup> Pb/ <sup>206*</sup> Pb
La Unión E 10	0,194	105,9	1,25	6,80	233,73	0,0727	4,18	0,0113	3,42	0,829	0,0468	2,33	72	71	41
La Unión E 9	0,271	99,687	1,16	4,87	332,14	0,0739	3,06	0,0115	2,6	0,853	0,0466	1,6	73	72	30

\*- Pb común corregido usando <sup>204</sup>Pb medido



## CARACTERÍSTICAS PETROLÓGICAS Y GEOQUÍMICAS DE LAS ROCAS DEL COMPLEJO OFIOLÍTICO DE LA ZONA DE CAYO GRANDE, MOA Y SU INFLUENCIA PALEOTECTÓNICA.

***Jorge L. Delgado Feuts<sup>(1)</sup>, Jesús A. Blanco Moreno<sup>(2)</sup>, Silva Pereira Ginga<sup>(2)</sup>***

<sup>(1)</sup>. Empresa Geominera Camagüey, Carretera Central Este Km 51/2, Camagüey, Cuba. Telf:271328, 271202. E-mail: [jorgedf@geomineracmq.co.cu](mailto:jorgedf@geomineracmq.co.cu)

<sup>(2)</sup>. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Las Coloradas, Moa, Holguín.

### RESUMEN.

En el Complejo Ofiolítico Moa-Baracoa existen varias teorías en cuanto su génesis y emplazamiento, lo cual está dado por un incompleto estudio petrológico y geoquímico. Por lo que el objetivo fundamental de este trabajo fue realizar una caracterización petrológica y geoquímica de los elementos mayores de los minerales de las rocas de afinidad Ofiolítica de la zona de Cayo Grande y su influencia en la paleotectónica. Se realizó la interpretación de secciones delgadas y datos de microsonda electrónica. Como resultados se obtuvieron diferencias petrogenéticas y geoquímicas entre las rocas gabroicas de la zona de Cayo Grande, lo que sugiere que las rocas de la zona de Cañete, Yamanigüey, y Mercedita fueron originadas a partir de magmas con composiciones diferentes. La disminución del #Mg y el aumento del % de TiO<sub>2</sub> en las gabronoritas de Cañete, sugiere que el magma que dio origen a estas rocas estaba relativamente empobrecido en Mg y enriquecido en Ti. Según los valores del #Mg determinados en los clinopiroxenos y ortopiroxenos de las gabronoritas de Cañete, estas rocas se encuentran en la frontera de bajas y altas presiones de cristalización. La presencia de cristales zonados en los piroxenos y los altos contenidos de An presente en las plagioclasas suponen bajas tasas de enfriamiento y un régimen controlado por procesos de equilibrio subsolidus. Las características petrogenéticas y geoquímicas de las rocas gabroicas de la zona de Cañete, sugiere que fueron creadas en un ambiente de una cuenca de trasarco en una zona de zuprasubducción.

### ABSTRACT.

In the Moa-Baracoa Ophiolite Complex several theories exist about their origin and location, because of an incomplete petrologic and geochemistry studies. The fundamental objective of this work is to realize a petrologic and geochemistry characterization of the major elements than the minerals of the ophiolite rocks of the Cayo Grande and its influence in the paleotectonic. Well be used the interpretation of thin sections and data of electronic microsonda. As results we have petrogenetic and geochemistry differences were obtained among the gabbroic rocks of the area of Cayo Grande, what suggests that the rocks of the area of Cañete, Yamanigüey, and Mercedita were originated starting from magmas with different compositions. The decrease of the #Mg and the increase of the % of TiO<sub>2</sub> in the gabronorites of Cañete, suggest that the magma that have origin to these rocks was relatively impoverished in Mg and enriched in Ti. According to the values of the #Mg determined in the clinopyroxene and orthopyroxene of the gabronorites of Cañete, these rocks are in the frontier of low and discharges crystallization pressures. The presence of crystals layered in the pyroxenes and hight An value founder in the plagioclases.





They suppose low cooling rates and a regime controlled by processes of subsolidus balance. The petrogenetic and geochemistry characteristic of the gabbroic rocks of the Cañete area, suggests that they were created in an geodynamic environment of a backarc basin in a suprasubduction zone.

## INTRODUCCIÓN.

Este trabajo formó parte de la tesis de diploma del autor, discutida en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa en Julio del 2003, la cual formó parte de un proyecto existente entre el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y la Universidad de Barcelona, para el estudio del Complejo Ofiolítico Moa-Baracoa.

Las rocas del complejo ofiolítico en el Macizo Moa-Baracoa, contienen elevados contenidos de elementos químicos de marcada importancia económica como son hierro, níquel y cobalto en los minerales de las cortezas de meteorización desarrollada sobre sus rocas; así como yacimientos industriales de cromitas refractarias, e importantes acumulaciones de ilmenita en los concentrados pesados de los ríos que las cortan. Sin embargo no todos estos recursos han sido estudiados detalladamente, es por eso que fue seleccionada la zona de Cayo Grande en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañete, la cual abarca un área de 30 Km<sup>2</sup> aproximadamente ubicada al noreste de la provincia de Holguín y el área de estudio de este trabajo ocupa una extensión de 16 Km<sup>2</sup>.

El estudio detallado de éste macizo es clave para la comprensión de su génesis y emplazamiento, cuestiones fundamentales para esclarecer la geología de ésta importante región de la parte oriental cubana. Sin embargo, el grado de conocimiento actual de éste complejo es insuficiente al no existir una cartografía detallada de los diferentes tipos litológicos. Se han realizado muy pocos estudios que tengan en consideración las concepciones petrológicas, geoquímicas y estructurales ligadas a los actuales avances en el conocimiento de la corteza terrestre, que pueden explicar su origen, son insuficientes los estudios de análisis de fabricas, química mineral, geoquímica de los elementos trazas, y otros de índole tectónica y estratigráfica.

Por lo que el objetivo de este trabajo es profundizar un poco más en la caracterización petrológica y geoquímica de las rocas del Complejo Ofiolítico Moa-Baracoa presentes en la zona de Cayo Grande, para así aumentar el conocimiento geológico y paleotectónico de la zona.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

En la presente investigación se utilizaron los datos de microsonda electrónica realizados a muestras tomadas en el área de estudio (Cañete, Yamanigüey), y de otras zonas (Camagüey, Mercedita), en el caso de la información de Mercedita sólo se tomaron los resultados de la interpretación y comparación realizada por Rodríguez, (2000). También se realizaron estudios de varias secciones delgadas para la descripción petrológica de los distintos tipos de rocas.

Los análisis químicos de los minerales presentes en las muestras se efectuaron mediante la microsonda electrónica CAMECA SX50, en los *Serveis Científico-Técnicos* de la Universidad de Barcelona. Se utilizó una tensión de aceleración de 20 Kv y una corriente sobre la muestra de 20 nA. Se midió sobre las líneas espectrales Kalfa del Fe, Mn y Ni con un cristal LiF, las Kalfa Mg, Si, Al, Na con un TAP, y las Kalfa del Ca, Cr, Ti y K con un PET. Los patrones utilizados



fueron ortoclasa (Si, Al, K),  $\text{FeO}_3$  (Fe), periclasa (Mg), wollastonita (Ca), rodonita (Mn), NiO (Ni), rutilo (Ti), albita (Na),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (Cr).

La interpretación de toda esta información fue realizada con la base de otras investigaciones precedente realizada en el mismo complejo ofiolítico o en otros complejos ofiolíticos del mundo con similitudes en su génesis, tanto por autores cubanos como de autores extranjeros. Para lo que fue necesario una minuciosa búsqueda bibliográfica, además de la utilización de tesis tanto doctorales como de maestría y artículos publicados digitalmente.

## RESULTADOS.

### Geología del Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa.

El Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa, se localiza en el extremo oriental de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa. Ocupando un área aproximada de 1 500 km<sup>2</sup>, presentando un gran desarrollo de los complejos ultramáfico, de gabros y complejos volcanosedimentarios. Se han calculado espesores de aproximadamente 1000 m para el complejo ultramáfico y 500 m para el complejo de gabros (Fonseca et al., 1985) de la misma forma (Quintas, 1989) estimo un espesor de 1200 m para el complejo volcanosedimentario.

El complejo ultramáfico se caracteriza petrológicamente por un predominio de las harzburgitas, y en menor medida, de dunitas; además, se han descrito dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas y piroxenitas (Guild, 1947; Ríos y Cobiella, 1984; Heredia y Terepin, 1984; Fonseca et al., 1984, 1992; Torres, 1987; Andó et al., 1989; García y Fonseca, 1994). La mayoría de los trabajos anteriormente citados diferencian en el complejo ultramáfico niveles de cumulados, sin embargo, (Proenza, 1997) considera a todas las rocas ultramáficas presentes como restos litosféricos del manto.

Los gabros de cumulados forman grandes cuerpos incluidos en el complejo ultramáfico. La dimensión de los cuerpos se encuentra entre 1 y 3 Km. de ancho, y de 10 a 15 Km de longitud. Generalmente el contacto existente entre el complejo ultramáfico y el de gabros es de carácter tectónico?. En su mayoría los gabros están cubiertos por mantos de rocas ultramáficas (Fonseca et al. , 1985), aunque Andó, et al. (1989) plantean que en algunos sectores se observa un contacto transicional?. La parte inferior del complejo de gabros se caracteriza por presentar un marcado bandeamiento. Los principales tipos petrológicos descritos son: gabros olivínicos, gabronorita, anortositas y noritas (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca et al., 1985; Torres, 1987). El contacto entre los diferentes tipos de gabros es transicional?.

El complejo de diques de diabasas está muy mal representado. Las diabasas descritas en la región aparecen principalmente en forma de bloques tectónicos incluidos en los niveles de gabros, sobre todo en la parte superior del complejo cumulativo (Torres, 1987).

El complejo volcanosedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico, está compuesto por la Formación Quibiján (Iturralde-Vinent, 1996) la cual está representada por basaltos amigdaloides y porfíricos, algunas veces con estructura en almohadilla, con intercalaciones de hialoclastitas, tobas, capas de cherts y calizas (Quintas, 1989). Desde el punto de vista geoquímico, son basaltos de afinidad toleítica oceánica (Torres y Fonseca, 1990, Kerr, et al. 1999).

En el macizo también existen numerosos cuerpos de cromititas, sills de gabros, así como diques de gabros y pegmatoides gabbroicos (Fonseca et al., 1992; Proenza et al., 1997). Los sills



de gabros y cromititas se localizan en la parte más alta de la secuencia mantélica, en la zona de transición entre las peridotitas con texturas de tectonitas y los cumulos máficos (Figura. 1).

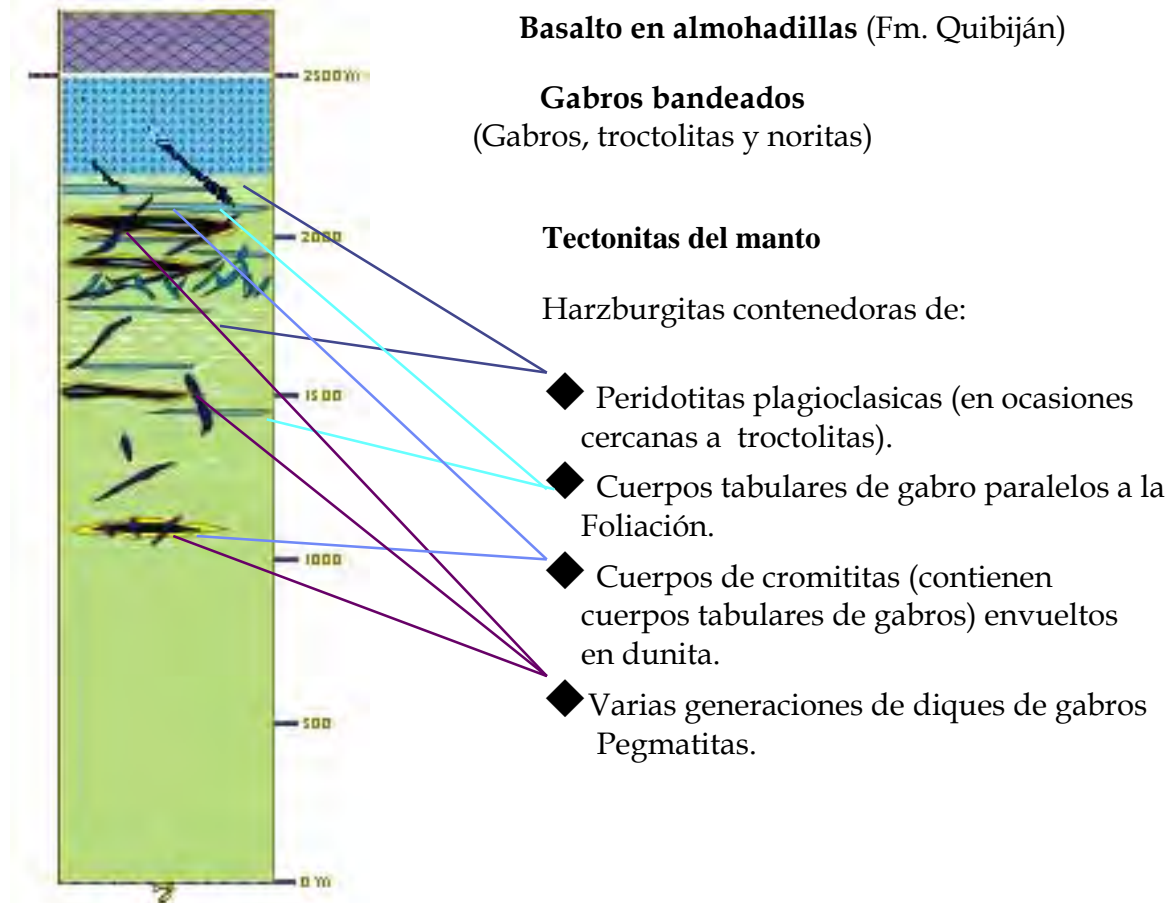


Figura 1. Columna sintética generalizada ideal para el macizo ofiolítico Moa – Baracoa (Proenza, et al., 2003).

Según Proenza, et al.(2003), en el corte del macizo Moa Baracoa aparece, de abajo hacia arriba: a) una zona de harzburgitas con texturas de tectonitas, que contiene varias generaciones de diques de gabros pegmatíticos, cuerpos de cromititas (contienen cuerpos tabulares de gabros), cuerpos tabulares de gabros paralelos a la foliación y peridotitas plagioclásicas (en ocasiones cercanas a troctolitas), (esta zona corresponde a la denominada *Moho Transition Zone*); b) la zona de los cumulos máficos (gabros), los cuales presentan un gran desarrollo de gabros bandeados (gabros, troctolitas y noritas); e) complejo efusivo formado por basaltos en almohadillas representados en la Formación Quibiján.

### Descripción Petrográfica de las rocas de afinidad ofiolítica en las zona de Cayo Grande.

Las rocas presentes en el área de cayo grande son predominantemente Harzburgitas, cuerpos de gabros, fundamentalmente gabronoritas y gabo olivínico, dunitas impregnadas, con plagioclasa y piroxenos y diques gabroicos.

El contacto entre las Harzburgitas y los cuerpos de gabros es tectónico, los gabros están alterados en toda su área, sobre ellos se desarrolla una corteza medianamente madura.



### **Harzburgitas. Descripción petrográfica**

Las Harzburgitas constituyen alrededor del 80% del área estudiada. En estas rocas la presencia de olivino oscila en un 70-80%, ortopiroxeno (enstatita) de un 10-20%, el clinopiroxeno aparece en menor medida, alrededor de un 1%. Son rocas que muestran principalmente texturas porfiroclásticas; los porfiroclastos de ortopiroxeno se presentan aislados en una matriz granoblástica de olivino.

Los cristales de ortopiroxenos se muestran deformados a favor de los planos de expoliación y presentan bordes cóncavos/convexos o golfos de corrosión los que pueden estar dados por la incidencia de procesos de reacción/disolución a partir de la cual ocurre la disolución del piroxeno y la cristalización del olivino.

El remplazamiento del ortopiroxeno por olivino tiene lugar siempre que la reacción entre el magma saturado en olivino intergranular y la matriz peridotítica tenga lugar en condiciones de aumento del volumen de magma (Kelemen, 1990).

Como minerales secundarios aparecen minerales del grupo de la serpentinita, clinocloro y magnetita, y en grietas más tardías calcita y dolomita.

### **Dunitas impregnadas. Descripción petrográfica.**

Las dunitas "impregnadas" que se encuentran en el área de estudio se componen mayoritariamente de olivino, y en menor medida de plagioclasa + clinopiroxenos. El estudio modal indica hasta un 70% de olivino y un 30% de plagioclasa + clinopiroxenos, siendo la proporción de plagioclasa siempre mayor que la de clinopiroxenos.

Los granos de olivinos (subredondeados) están rodeados de plagioclasas y de clinopiroxenos. El olivino presenta un tamaño de grano entre 1 y 4 mm, muestra normalmente rasgos de deformación plástica a alta temperatura (Rodríguez, 2000). Los cristales de plagioclasas y clinopiroxenos se disponen interticialmente entre los cristales de olivino. A diferencia de las peridotitas impregnadas del área de Mercedita (Proenza; 1999), las dunitas impregnadas de la zona de Cañete presentan las plagioclasas bastante frescas. Los cristales de plagioclasas tienen tamaño de grano variables entre 0.6 y 3 mm. Los clinopiroxenos presentan tamaño de grano entre 0.7 y 2.5 mm. Las plagioclasas y los clinopiroxenos no muestran rasgos de deformación y suelen desarrollar cristales idiomórficos y subidiomórficos.

Los cristales de olivino se encuentran alterados, principalmente a partir de bordes de grano, a minerales del grupo de la serpentina (principalmente lizardita) y magnetita. Los minerales del grupo de la serpentina suelen a su vez, estar alterados a clinocloros.

### **Química mineral.**

#### **Olivino**

Los cristales de olivino descritos por en las dunitas impregnadas de Cañete presentan una composición bastante uniforme. Los contenidos de fosterita varían entre 85,14 y 85,76 % y los de Ni entre 1014 y 1875 ppm. Los contenidos de Fo y Ni son inferiores a los descritos por Proenza (1998) para las rocas presentes en la Moho Transition Zone (MTZ) en el área del yacimiento Mercedita. Sin embargo, se ubican dentro del campo composicional de los gabros bandeados en el área de Mercedita.



Los olivinos de la dunitas impregnadas de la zona de Cañete no muestran ninguna correlación entre el % molecular de Fo y el contenido de Ni. Este hecho cuestiona la incidencia de procesos de fusión parcial o de cristalización fraccionada como únicos responsables de la formación de estas rocas.

### **Clinopiroxeno.**

Los clinopiroxenos presentan en las dunitas impregnadas en la zona de Cayo Grande corresponden, de acuerdo a la clasificación de Morimoto et al. (1989) a augita. La composición de los clinopiroxenos de las dunitas impregnadas varían entre En <sup>43.25 45.96</sup> Fs <sup>11.60 14.31</sup> Wo <sup>39.72 44.92</sup>. Este mineral presenta contenidos entre 0.11 y 0.24 % en peso de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y entre 2.04 y 2.29 % en peso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . El contenido de  $\text{TiO}_2$  oscila entre 0.57 y 0.78 % en peso, mientras que el  $\text{Na}_2\text{O}$  alcanza valores de hasta 0.31 % en peso. El número de Mg de los clinopiroxenos es alto, varía entre 79.08 y 83.43. Estos clinopiroxenos son más ricos en el componente Fs que los clinopiroxenos de las dunitas impregnadas de la MTZ del área de Mercedita (Proenza, 1998). También los clinopiroxenos de las dunitas impregnadas de la zona de Cañete presentan contenidos superiores de  $\text{TiO}_2$  e inferiores de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  que los descritos por Proenza (1998) en la MTZ de Mercedita.

### **Cumulados de gabros.**

En el área aparecen cuerpos de cumulos de gabros, en forma aislada dentro de la harzburgitas, generalmente se encuentran alterados en una u otra medida y son escasos los afloramientos de rocas frescas. Estos afloramientos sólo se hallan en el cauce de los ríos, donde se han determinado, gabronorita, gabro olivínico y cuerpos de pegmatoides gabroicos (Rodríguez, 2000).

Esta área está completamente complicada por la tectónica y por los procesos de alteración que han sufrido las rocas que no permiten observar en detalles sus particularidades, sin embargo su apariencia general sugiere un bandeo en los mismos. Este bandeo es debido a variaciones modales de los minerales mayoritarios (Proenza, 1997).

### **Gabronorita. Descripción petrográfica.**

La gabronorita de Cayo Grande presenta una composición bastante homogénea, con predominio de los clinopiroxenos. El estudio modal de estas gabronoritas realizado, indica la siguiente composición: De un 60 a 65 % de clinopiroxenos con un tamaño de grano entre 0.5 y 2.8 mm. De un 20 a 30 % de plagioclasa con un tamaño de grano entre 0.6 y 2 mm de diámetro. De un 10 a 15 % de ortopiroxeno con un tamaño de grano entre 0.3 y 3 mm en posición intercumulus.

El orden de cristalización es: clinopiroxenos-plagioclasa-ortopiroxeno. Los cristales de ilmenita se asocian a los cristales de clinopiroxenos, muchas veces se disponen siguiendo los planos de exfoliación. Los cristales de plagioclasa se encuentran, muchas veces, parcialmente reemplazados por zoisita, sericita o prehnita. Los piroxenos también se encuentran reemplazados en mayor o menor grado por anfíbol uralítico. Cortando a las gabronoritas se pueden encontrar vetas tardías milimétricas rellenas de anfíboles.

### **Química mineral Clinopiroxenos.**





La composición de los clinopiroxenos presentes en la gabronoritas varían entre  $En_{47.62-52.38}$   $Fs_{7.33-9.07}$   $Wo_{38.54-44.93}$ . Los contenidos de  $Cr_2O_3$  oscilan entre 0.12 y 0.20 % en peso mientras que los de  $Al_2O_3$  varían de 1.33 hasta 2.47 % en peso. El número de magnesio oscila entre 78 y 87. Los clinopiroxenos de las gabronoritas presentan valores más alto del componente Fs que los clinopiroxenos de las dunitas impregnadas, y que los descritos por diferentes tipos litológicos del área de Mercedita (Proenza, 1998).

Los clinopiroxenos de las gabronoritas presentan valores relativamente altos de #Mg (87.76 – 90.76) sin embargo con valores de Fo y  $Cr_2O_3$  inferiores a los clinopiroxenos de los gabros bandeados de Mercedita. En las gabronoritas estudiadas los clinopiroxenos presentan contenidos de  $TiO_2$  superiores a los descritos en los gabros bandeados del área de Mercedita (Proenza, 1998).

### Ortopiroxeno

La composición del Ortopiroxeno de las gabronoritas varía entre  $En_{68.48-68.94}$   $Fs_{27.25-28.32}$   $Wo_{3.14-3.91}$  con un #Mg oscilando entre 72.62 y 74.32. Los valores de  $Al_2O_3$  están entre 1.12 y 1.18 % en peso y son inferiores a los clinopiroxenos coexistente. Los contenidos de  $Cr_2O_3$  y  $Na_2O$  son muy bajos llegando hasta 0.08 y 0.05 respectivamente, muchas veces por debajo de los límites de detección de la microsonda. Los contenidos de  $TiO_2$  son relativamente altos, alcanzando valores de hasta 0.59 % en peso.

### Plagioclasa.

La composición de las plagioclasas presentes en las dunitas impregnadas y en las gabronoritas de la zona de Cañete son muy semejantes. La composición de las plagioclasas de las dunitas impregnadas se encuentra entre  $An_{60-68}$   $Ab_{33-39}$   $Or_{0.4-0.7}$ . Mientras que la composición de las plagioclasas de las gabronoritas esta entre  $An_{60-68}$   $Ab_{32-39}$   $Or_{0.3-0.6}$ .

Los contenidos de An en la plagioclasa frente al #Mg del Clinopiroxeno muestran que las gabronoritas de la zona de Cañete se sitúan dentro del campo establecido para los gabros tipo MORB (Burns, 1985). El contenido en An es inferior al descrito para los gabros bandeados del área de Mercedita (Proenza, 1998), así como a los descritos en las secuencias basales de los cumulos máficos de otros complejos ofiolíticos relacionados con arcos de isla volcánicos (Troodos, Hébert y Laurent, 1990; Mersín, Parlak et al. 1996).

### Gabro olivínico. Descripción petrográfica.

El gabro olivínico muestra hasta un 35 % de olivino, clinopiroxeno en un 20-50 % y las plagioclasas, muchas veces saussuritizadas ocupan alrededor de un 30-40 %. El orden de cristalización es: olivino-clinopiroxeno-plagioclase. Como producto de alteración aparecen olivinos alterados a minerales del grupo de la serpentina y piroxenos bastitizados. En este tipo de rocas se encuentran los siguientes minerales metálicos: ilmenita, magnetita y sulfuros de Fe-Ni-Cu.

### Comparaciones realizadas entre las rocas del Complejo Ofiolítico perteneciente a Cayo Grande y sus similares en otras zonas.

#### Olivino.





Los olivinos de las Dunitas impregnadas de Cañete presentan menor #Mg que los gabros de Camagüey y a su vez menor por ciento molecular de Fo que las peridotitas impregnadas de Yamanigüey y dunitas impregnadas de Mercedita y mayor que los gabros de Camagüey. Los gabros de Camagüey son más máficos que las secuencias de los gabros y dunitas impregnadas de Cañete, pues el % mol de Fo en Cañete es mucho más bajo, al igual que sus contenidos del #Mg, que los de Camagüey (Figura 2).

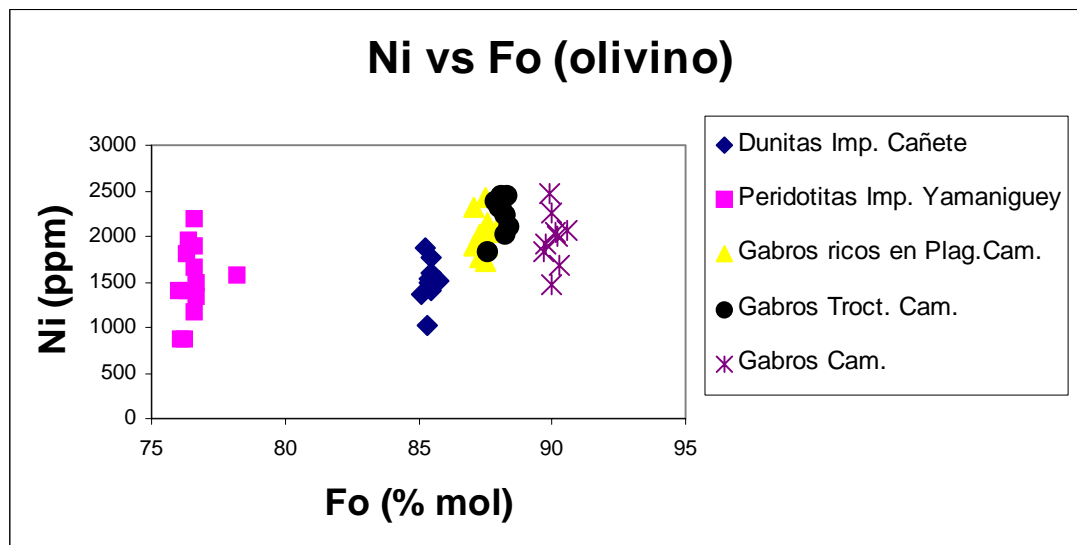


Figura 2. Ni (ppm) vs Fo (%mol) en los olivinos.

### Ortopiroxenos.

Los ortopiroxenos de las gabronoritas de Cañete tienen un #Mg mucho más alto que el de los gabros de Camagüey, mientras que el contenido de TiO<sub>2</sub> es relativamente similar.

### Clinopiroxenos.

Los clinopiroxenos de las dunitas impregnadas y las gabronoritas de Cañete presentan mayor contenido de TiO<sub>2</sub> (0.57-0.78 %) que los gabros de Camagüey los cuales están en el rango de 0.001 y 0.1, que las peridotitas impregnadas de Mercedita y los gabros bandeados de Yamanigüey (0.15-0.23 %).

En cuanto al número de Magnesio las dunitas impregnadas y las gabronoritas de Cañete presentan valores superiores a los gabros de Camagüey los cuales apenas llegan a alcanzar valores de 35. Los gabros bandeados de Yamanigüey y las peridotitas impregnadas y gabronoritas de Mercedita ocupan los mayores valores alcanzando hasta 99.4.

Las dunitas impregnadas y las gabronoritas de Cañete tiene su #Cr mucho más bajo que el de los clinopiroxenos de los gabros bandeados de Yamanigüey y las peridotitas impregnadas y gabronoritas de Mercedita.

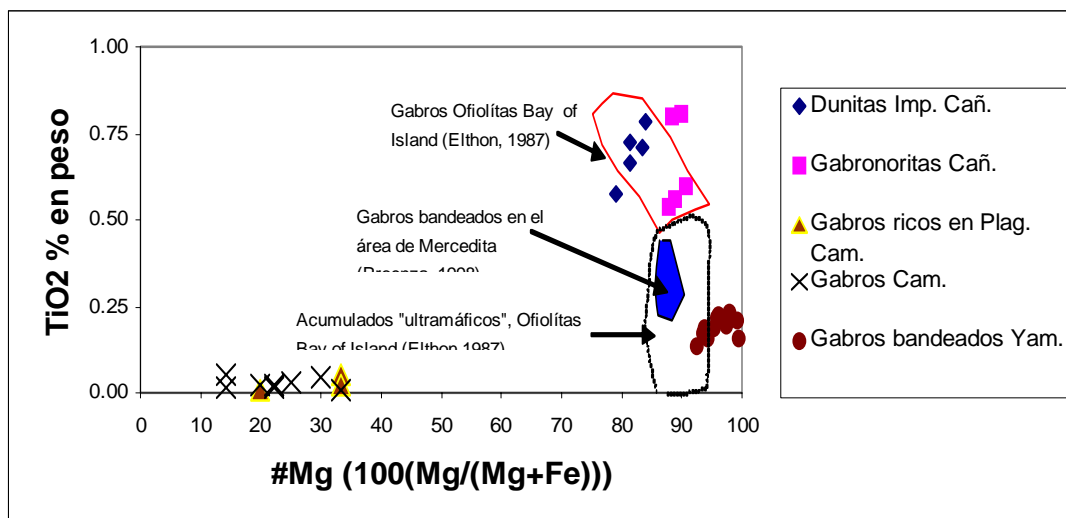


Figura 3.  $\text{TiO}_2$  en por ciento en peso vs #Mg en los clinopiroxenos.

### Plagioclasas.

Las plagioclasas de las gabronoritas de Cañete tienen un contenido de  $\text{Na}_2\text{O}$  muy superior a los valores registrado en los gabros de Camagüey. En las plagioclasas de las gabronoritas de Cañete el contenido de  $\text{K}_2\text{O}$  sobrepasan los 0.07 % siendo mucho mayor que los contenidos registrado para los gabros de Camagüey. En cuanto al contenido de An y  $\text{TiO}_2$  las plagioclasas de las gabronoritas de Cañete tienen menor contenido de An y mayor de  $\text{TiO}_2$  que las troctolitas de Yamanigüey, las peridotitas impregnadas y gabronoritas de Mercedita (Figura 4).

Las gabronoritas y las dunitas impregnadas de Cañete y las gabronoritas de Yamanigüey se encuentran en el campo correspondiente a los gabros tipo MORB. Lo que corresponde con ofiolitas formadas en una cuenca de trasarco (back arc basin), Figura 5.

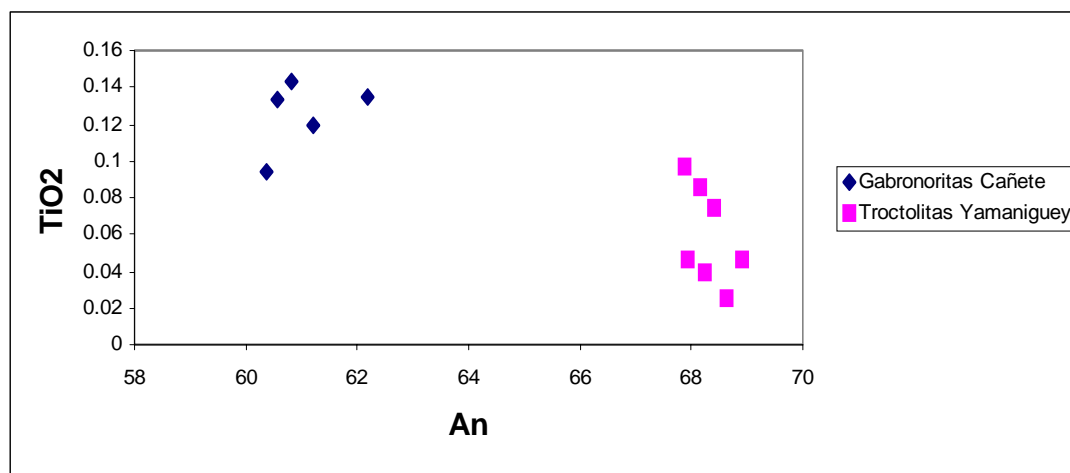


Figura 4. Por ciento en peso de  $\text{TiO}_2$  vs An en las plagioclasas

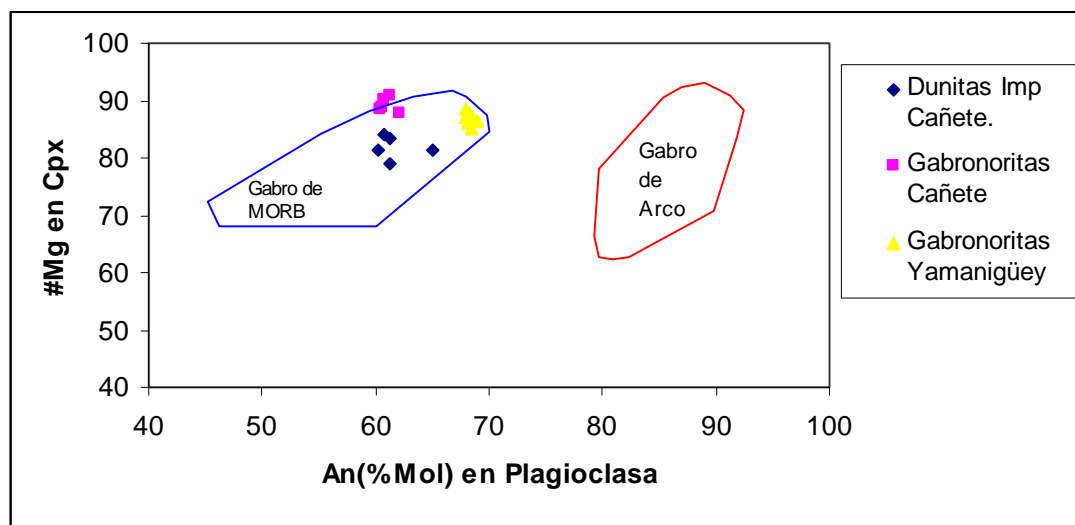


Figura 5. #Mg en los clinopiroxenos Vs An (% Mol) en la Plagioclase, definición de los campos de los Gabros de Arco y de los Gabros tipo MORB

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Después de haber realizadas las comparaciones descritas anteriormente, se puede decir que a pesar de la similitud en cuanto al ambiente de formación presente en todas las zonas relacionadas, existen diferencias geoquímicas y petrológicas entre ellas, tanto dentro del mismo complejo ofiolítico (Camagüey) y las de la misma zona de Cayo Grande (Yamanigüey, Mercedita). Lo que demuestra que las rocas gabroicas anteriormente citadas han sido originadas por magmas de distintas composiciones.

Los gabros de Cañete presentan un #Mg menor que las rocas gabroicas de Mercedita, Yamanigüey y Camagüey, lo que nos dice que el magma que dio origen a los gabros de Cañete es un magma empobrecido en Mg.

Según los resultados de los análisis de microsonda se puede decir que los gabros de Cañete son más ricos en  $\text{TiO}_2$  y más pobres en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  que los gabros bandeados de Yamanigüey, que las gabronoritas de Mercedita y que los Gabros de Camagüey.

Los contenidos de Fo en los olivinos de las dunitas impregnadas de Cañete son mayores que los de los olivinos de los gabros de Camagüey y menores que los contenidos de los olivinos de las peridotitas impregnadas de Yamanigüey y las peridotitas impregnadas y gabronoritas de Mercedita. Lo que nos indica que las peridotitas de Yamanigüey y Mercedita fueron originadas por un magma proveniente de un manto más empobrecido que las dunitas de Cañete y los gabros de Camagüey.

Las plagioclasas de las gabronoritas de Cañete son más sódicas y potásicas que las plagioclasas de los gabros de Camagüey. El contenido de An de las plagioclasas de las gabronoritas de la zona de Cañete son menores que los contenidos de las plagioclasas de los gabros bandeados de Yamanigüey y las peridotitas impregnadas y gabronoritas de Mercedita.

Trabajo experimental (Elthon, 1982) demuestran que la relaciones de fase a bajas presiones se caracterizan por un #Mg generalmente bajo para el clinopiroxeno (#Mg menor de 82), así



como para el ortopiroxeno (#Mg menor de 74). En consecuencia, los valores del #Mg del clinopiroxeno (78-87) y ortopiroxeno (73-74) de las gabronoritas de Cañete se proyectan cerca de la frontera que delimita los campos correspondiente a bajas y altas presiones de cristalización. Sin embargo la presencia de cristales zonados en los piroxenos y la relativa homogeneidad composicional de los clinopiroxenos en conjunto con los altos contenidos de An presentes en las plagioclasas con respecto a las demás zonas estudiadas, parecen bajas tasas de enfriamiento y un régimen controlado por procesos de equilibrio subsolidus (Burns, 1985; Parlak et al, 1996).

Por otra parte, el contenido de  $\text{TiO}_2$  en los clinopiroxenos se ha relacionado con el grado de empobrecimiento (depletion) del manto y la actividad del Ti en el magma parental a partir del cual se genera la unidad de acumulados (Pearce y Norry, 1979). Según esta interpretación el magma a partir del cual cristalizaron los clinopiroxenos de las gabronoritas presentes en la zona de Cañete debió ser relativamente rico en Ti.

La composición de las plagioclasas de las gabronoritas de la zona de Cañete queda comprendida en el intervalo composicional de los gabros cumulativos de los complejos ofiolíticos de *Border Rangers* en Alaska (Burn, 1985), de Omán (Browning, 1984), y de Northland en Nueva Zelanda (Thompson et al., 1997). Todas estas ofiolitas se han relacionado con ambiente de arco de islas volcánico (ofiolitas de zona de suprasubducción). Por lo que se propone como posible ambiente geodinámico para las gabronoritas de la zona de Cañete una zona de expansión en una cuenca de trasarco. Esta interpretación es apoyada por las características geoquímicas de suprasubducción descrita en los niveles mantélicos u corticales del Macizo Moa-Baracoa (Proenza et al., 1999a), y por las características geoquímicas de IAT presentes en las muestras de basaltos de afinidad ofiolítica del Macizo Moa-Baracoa (Fm. Quibijan) (Kerr et al, 1999, Proenza, et al. 2003). La presencia de características geoquímicas de ofiolitas de zona de suprasubducción indica que la litosfera oceánica fue modificada y/o creada en una cuenca de trasarco. El volcanismo en cuencas de trasarco esta caracterizado por un predominio de magmas toleíticos formados por fusión adiabática de un manto (MORB) empobrecido, modificado por procesos asociados con la deshidratación de la placa subducente. Todas las características del quimismo mineral de las gabronoritas de Cañete son similares a las descritas en las secuencias plutónicas de otras ofiolitas interpretadas tectónicamente como generadas en una cuenca de trasarco (Thompson et al., 1997).

## CONCLUSIONES.

En el presente trabajo se arribaron a las siguientes conclusiones.

- ✓ Existen diferencias petrogenéticas y geoquímicas entre las rocas gabroicas de la zona de Cayo Grande, tanto dentro de la misma zona como en las de otros complejos ofiolíticos dentro del mismo arco de isla.
- ✓ Las diferencias petrogenéticas y geoquímicas encontradas entre las rocas de la zona de Cañete, Yamanigüey, y Mercedita sugiere que su origen fue a partir de magmas con composiciones diferentes.
- ✓ La disminución del #Mg y el aumento del % de  $\text{TiO}_2$  en las gabronoritas de Cañete, sugiere que el magma que dio origen a estas rocas estaba relativamente empobrecido en Mg y enriquecido en Ti.
- ✓ Según los valores del #Mg determinados en los clinopiroxenos y ortopiroxenos de las gabronoritas de Cañete, estas rocas se encuentran en la frontera de bajas y altas presiones de cristalización.
- ✓ La presencia de cristales zonados en los piroxenos y los altos contenidos de An presente en la plagioclasa con respecto a las rocas de las demás zonas estudiadas suponen bajas tasas de enfriamiento y un régimen controlado por procesos de equilibrio subsolidus.



- ✓ Las características petrogenéticas y geoquímicas de las rocas gabroicas de Cañete, sugiere que fueron creadas en un ambiente de una cuenca de trasarco en una zona de zuprasubducción.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Andó J., Miklos K., Ríos Y. 1989. Caracterización general de la asociación ofiolítica de la zona Holguín - Moa y el papel de las ofiolitas en el desarrollo estructural de Cuba. *Revista Minería y Geología*, Vol. 7, No.1.
- Browning, P. 1984 Cryptic variation within the cumulate sequence of the Oman ophiolite: Magma chamber depth and petrological implications. En: Gass, I.G., Lippard, S.J., Shelton, A.W. (eds). *Ophiolite and oceanic lithosphere*. Geological Soc. Sp. Pub., 14, 71-82.
- Burns, L.E. 1985. The border rangers ultramafic and mafic complex, south-central Alaska: cumulate fractionates of island-arc volcanics. *Canadian Journal Earth Science*, 22, 1020-1038.
- Díaz, R. 1996. Particularidades de la distribución del oro, platinoides y otros minerales pesados en los placeres laterales del noreste de Cuba oriental y su evaluación perspectiva. Tesis Doctoral. Departamento de geología ISMM.
- Elthon, D., Casey, J.F. y Komor, S. 1982. Mineral chemistry of ultramafic cumulates from the North Arm Mountain massif of the Bay of Islands ophiolite: evidence for high pressure crystal fractionation of oceanic basalt. *Jour. Geophys. Res.*, 87: 8717-8734.
- Fonseca E., Zelepugin M. y Heredia M. 1984. Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica en Cuba. *Ciencias de la tierra y el espacio*, No.9.
- Fonseca, E.; Sladkevich, V.; Santa Cruz, M.; Murales, A.; et al. 1992. Geología de los yacimientos cromíticos con evaluación y pronósticos. Informe final tema 401-12. Unidad Minera Punta Gorda, Moa. Cuba.
- Fonseca, E.; Zelepugin, V.N.; Heredia, M. 1985. Structure of the ophiolite association of Cuba. *Geotectonic*. 19.. 321-329.
- García, I.; Fonseca, E. 1994. La mineralización cromítica y su relación con las doritas en el yacimiento Amores. *Minería y geología*. 11., 50-54.
- Guild, P. W. 1947. Petrology and structure of the Moa Chromite District, Oriente province, Cuba. *Amer. Geophys. Union*, 28, 218-246.
- Iturralde Vinent, M.A. 1996. Geología de las ofiolitas de Cuba. En su: *Geología y arcos volcánicos de Cuba*. IGCP Project 364. Special Contribution n. 1. P. 83-130.
- Kelemen, P.B. 1990. Reaction between ultramafic rock and fractionating basaltic magma. I. Phase relations, the origin of calcalkaline magma series, and the formation of discordant dunite. *Jour. Petrol.*, 31, 51-98.
- Kerr, A.C., Iturralde Vinent, M.A., et al. 1999. A new plate tectonic model of the Caribbean: implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rock. *GSA Bulletin*, 111(11), 1581-1586.
- Morimoto, N. et al. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*, Vol. 73, pp 1123-1143.
- Parlak, O.; Delaloye, M. y Bígöl, E. 1996. Mineral chemistry of ultramafic and mafic cumulate as an indicator of the arc-related origin of the Mersin Ophiolite (southern Turkey). *Geol. Rundsch.*, 85, 647-661.
- Pearce, J. A.; Lippard, S.J.; Roberts, S. 1984. Characteristic and tectonic significance of suprasubduction zone ophiolite. En: Kokelaar, B.P. y Howells, M.F. (eds) *Marginal Basing Geology*, Geological Society, London, Special Publication, 16, 77-94.
- Proenza J.A. 1997. Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). Ejemplo del Yacimiento Mercedes. Tesis Doctoral, ISMM.
- Proenza, J.A., et al. marzo 2003. Nuevas concepciones sobre la petrología de la Moho Transition Zone en el macizo Ofiolítico Moa Baracoa, Memorias del V congreso de Geología, Cuba, La Habana.
- Proenza, J.A.; Gervilla, F.; Melgarejo, J.C. 1999a. La Moho Transition Zone en el macizo ofiolítico Moa Baracoa (Cuba): Un ejemplo de interacción magma/Peridotita. *Rev. Soc. geol. España*. 12(3-4): 209-228.
- Quintas F. 1989. Análisis estratigráfico y paleogeografía del Cretácico Superior y del Paleógeno de la provincia Guantánamo y áreas cercanas. Tesis doctoral, Departamento de Geología, I.S.M.M.



- Ríos Y.; Cobiella, J.L. 1984. Estudio preliminar del macizo de gabroides Quesigua de las ofiolitas del este de la provincia de Holguín. *Minería y Geología*, 2:1132,
- Rodríguez, R.M. 2000. Estudio petrológico de las rocas de afinidad ofiolítica portadoras de ilmenita de la zona de Cayo Grande en el Macizo Moa-Baracoa. Tesis de Maestría, Departamento de geología, ISMM.
- Thompson, G.M; Malpas, J.; Smith, I.E.M. 1997. The geochemistry of tholeiitic and alkalic plutonic suites within the Notherland ophiolite, northern New Zealand; magmatism in a back arc basin. *Chemical Geology*, 142, 213-223.
- Torres, M. 1987. Características de la asociación ofiolítica de la región norte de Moa Baracoa y su relación con el arco volcánico Cretácico. Trabajo de Diploma. Departamento de geología. ISMM.
- Torres, M. Fonseca. 1990. Características geólogo petrológicas del contacto entre las asociación ofiolítica y el arco volcánico en Moa baracoa. *Boletín de geociencias*, 4: 18-32.





## LOS NIVELES DE GABROS BANDEADOS EN EL MACIZO OFIOLÍTICO MOA-BARACOA (CUBA ORIENTAL): UN ESTUDIO COMPARATIVO A PARTIR DE QUIMISMO MINERAL

S. Pereira-Ginga (1,2), J. Blanco-Moreno (2), J.A. Proenza (1)

(1) *Universitat de Barcelona*

(2) *Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa*

El Macizo ofiolítico Moa-Baracoa incluye cuerpos de gabro representativos de la corteza inferior de una paleolitosfera oceánica. El contacto de los gabros con las peridotitas serpentinizadas es mayoritariamente tectónico, aunque también existen contactos transicionales a través de una zona de transición (MTZ) atípica, constituida por: harzburgitas, peridotitas impregnadas (con plagioclasa y clinopiroxeno), cuerpos concordantes de dunitas, cromititas, y gabros (sills), así como abundantes diques de gabro y pegmatoides gabroicos. Los niveles basales de gabros presentan un bandeo modal bien desarrollado de orientación N30°E, buzando ~30° al NW. En este trabajo se presenta una detallada caracterización mineralógica y de quimismo mineral de los cuerpos de gabro expuestos en las zonas de Mercedita, Cayo Grande, Quemado del Negro y Miraflores. Estas zonas representan los mejores afloramientos de los niveles de gabros bandeados en todo el macizo Moa-Baracoa.

Los gabros presentan una marcada foliación definida por la fábrica de la plagioclasa y/o por agregados de olivinos orientados. Las muestras de gabro estudiadas se componen mayoritariamente de gabro (plagioclasa + clinopiroxeno), gabros olivínicos (plagioclasa, clinopiroxeno y olivino) y en menor medida gabronoritas (plagioclasa, clinopiroxeno y ortopiroxeno). Todas las muestras registran mayoritariamente texturas de *cumulus-postcumulus*, y cristales de ortopiroxenos.

Los olivinos de los gabros en las diferentes zonas estudiadas muestran una amplia variación composicional, siendo los de Mercedita y los de Cayo Grande los más ricos en el componente forsterita ( $Fo = 85-86$ ) y los valores más bajos se han encontrado en los gabros de Quemado del Negro y Miraflores ( $Fo = 76-78$  y  $73-81$  respectivamente). En general los contenidos de NiO en los olivinos no están correlacionados positivamente con el porcentaje molecular de Fo. Este hecho, pone en duda que procesos de cristalización fraccionada sean los únicos responsables de la formación de estas rocas. Todos los clinopiroxenos presentes en los gabros corresponden a augita. Los mayores valores de  $\#Mg$  [ $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ] se encuentran en los Cpx de Miraflores y Quemado del Negro (~ 92) y los más bajos en Mercedita y Cayo grande. También, los Cpx de los gabros presentes en la zona de Miraflores tienen los mayores contenidos de  $Cr_2O_3$  (hasta 0.6 % en peso), mientras que los de la zona de Cayo Grande muestran los contenidos mas bajos (< 0,24 % en peso). Estos contenidos en  $Cr_2O_3$  están correlacionados positivamente con el  $\#Mg$ , indicando un descenso gradual del Cr durante el proceso de cristalización fraccionada. Los gabros de Mercedita muestran los contenidos mas bajos de  $TiO_2$  (< 0,42 % en peso), y los de gabros de Quemado del Negro los valores más altos (0,58-0,96 % en peso). El quimismo de los Cpx de los gabros estudiados es similar al de los Cpx de los gabros bandeados descritos en ofiolitas de zonas de suprasubducción.

Los mayores contenidos en An se han encontrado en las plagioclasa de Mercedita (hasta 77 %) y de Quemado del Negro (hasta 76 %), mientras que los menores contenidos en An corresponden a los gabros de Cayo Grande (< 62 %). Con la excepción de los gabros de la zona de Cayo Grande, los contenidos en An en la plagioclasa de los cuerpos de gabros estudiados, son inferiores a los descritos en gabros de arcos de islas, pero mayores a los encontrados en las rocas gabroicas de las dorsales mediooceánica. Este ambiente transicional entre gabros tipo arco de islas y tipo MORB podría corresponder con gabros característicos de zona de trasera de arco o cuenca de back arc. Esta conclusión es soportada por la modelización geoquímica de los líquidos en equilibrio con los gabros bandeados de la zona de Quemado del Negro (Marchesi et al., 2004). El resultado del cálculo indica que los líquidos en equilibrio con los gabros de Quemado del Negro tienen un patrón de REE, normalizado a los valores condriticos, similares a los basaltos de la zona de Morel, La Melba y Centeno, los cuales tienen afinidad de BABB (*back-arc basin basalts*).

Marchesi, C., Garrido, C.J., Godard, M. Proenza, J.A., Gervilla, F., Blanco-Moreno, J. (2004): Petrogenesis of gabbroic rocks and highly depleted peridotites from the Mayarí-Baracoa Ophiolitic Belt (eastern Cuba).



## ECLOGITES FROM THE CERRO TUNCAJ: IMPLICATIONS OF A COHERENT HIGH-PRESSURE BODY ON THE RIDGE OF THE SIERRA DE CHUACÚS, CENTRAL GUATEMALA

Martens, Uwe (1), Tsujimori, Tatsuki (1), Liou, Juhn G. (1)

(1) Department of Geological & Environmental Science, Stanford University, Stanford, CA 94305

The Cerro Tuncaj in central Guatemala bears a ~ 3 x 12 km wide mafic-ultramafic unit, containing mainly epidote eclogites and their amphibolitic equivalent, amphibole + garnet +/- epidote layered metamafic gneisses, and anthophyllite-bearing ultramafics. Rocks from Cerro Tuncaj have been considered part of the El Tambor group in the past, though they occur as a WNW elongated body regionally parallel to gneiss and pelitic schist units of the surrounding Chuacús complex. Outcrop-scale field relations between Tuncaj rocks and the Chuacús are unclear due to intense weathering and lack of exposure. A very interesting feature of Tuncaj eclogites and their amphibolitic equivalents is their occurrence as coherent rocks exposed in extensive outcrops tens of meters in size. In contrast eclogites elsewhere in Guatemala are boulders contained within serpentine mélangé in the Motagua suture or eclogitic relicts mostly in mafic bands within Chuacús complex gneisses.

Eclogites are fine-grained, granoblastic, and contain Cpx + Grt + Ep and minor rutile as eclogite-facies paragenesis. Clinopyroxene is omphacite ( $Jd_{28-50}Ae_{<10}Aug_{<50-72}$ ) and it contains rods of exsolved quartz. Garnet is an almandine-grossular solid solution ( $Alm_{40-60}Pyr_{1-17}Sps_{0-15}Grs_{30-46}$ ) in which the prograde path is well recorded from the core to the rim of the crystals. After eclogite-facies conditions, rocks partially reequilibrated at amphibolite facies, as recorded by growth of albite + amphibole + garnet + zoisite/clinozoisite + sphene. Amphibole is tschermaktic to edenite with [B]Na = 0.3-0.4, garnet is an almandine-grossular solid solution ( $Alm_{55-62}Pyr_{1-3}Sps_{0-3}Grs_{28-35}$ ), and relict clinopyroxene is omphacite ( $Jd_{18-45}Ae_{<5}Aug_{55-80}$ ). Other intriguing amphibolite bearing metamafic rocks from Tuncaj are free of plagioclase, and contain an almandine-grossular solid solution ( $Alm_{43-48}Pyr_{4-11}Sps_{3-7}Grs_{37-42}$ ), tschermaktic amphibole with [B]Na=0.1-0.2, and augite ( $Jd_{4.24}Ae_{<4}Aug_{78-96}$ ). The mineralogical features presented are very similar to those of eclogitic boulders from the northern part of the Motagua mélangé, and a common origin is in fact plausible. The Cerro Tuncaj body probably represents the source of eclogite boulders that were incorporated into the northern Motagua mélangé.



## PARTICULARIDADES GEOQUÍMICAS DE EFUSIVOS OFIOLÍTICOS EN LA REGION DE CUBA OCCIDENTAL- CENTRAL. IMPLICACIONES PARA EL AMBIENTE GEODINÁMICO DE SU FORMACIÓN

Angélica I. Llanes Castro, Iliana García Cadiz, María Sta Cruz Pacheco Sarlabous, Lilavatti Díaz de Villalvilla

*Instituto de Geología y Paleontología. Carretera Central y Línea del ferrocarril (s/n), Ciudad de la Habana. Cuba*

En las regiones de Habana-Matanzas (Cuba Occidental) y Villa Clara (Cuba Central), lavas mesozoicas relacionadas con sedimentos del jurásico superior titoniano y del cretácico, tienen lugar como escamas embebidas tectónicamente con rocas de los niveles inferiores ofiolíticos y secuencias vulcanógeno-sedimentarias del arco volcánico cretácico. Esta relación estructural entre las unidades oceánicas de distinta naturaleza, ha complicado la distinción geoquímica entre secuencias volcánicas con afinidad ofiolítica de aquellas relacionadas a los arcos de Islas y aunque mucho se ha avanzado en su interpretación, aún persisten aspectos polémicos sobre la génesis de las vulcanitas ofiolíticas. No obstante, una caracterización geoquímica de efusivos oceánicos en la región Occidental-Central de Cuba ha sugerido algunas nuevas consideraciones sobre la naturaleza magmática y el ambiente tectónico en el que evolucionaron las lavas ofiolíticas.

Varios diagramas aplicados a la geoquímica de los elementos mayores y traza fueron utilizados en la caracterización petroquímica e interpretación del ambiente geodinámico de los efusivos ofiolíticos. Es considerada la presencia de tres tipos de lavas: primitivas, poco fraccionadas y fraccionadas del tipo basaltos Fe-Ti, cuya expresión geodinámica en diferentes diagramas, sugiere la posible evolución de las mismas en dos tipos de ambiente tectónicos: transicional IAT-MORB, típicos para cuenca de retroarco-mar marginal y un ambiente tipo MORBN-MORBE bajo la influencia de una componente intraplaca; este último para los exponentes de Cuba Occidental, cuyo origen protocaribeño, caribeño o pacífico aún no está claro. Por otra parte, la evolución geodinámica de los basaltos ofiolíticos de Cuba Central, en una zona de SSZ, pudiera no ser muy consistente con la ocurrencia de sedimentos titonianos que los acompañan, sin embargo, en esta relación geológica las lavas basálticas pudieran ser consideradas el producto de una expansión oceánica, en estadios iniciales (finales del Jurásico-cretácico temprano) hasta intermedios, de una cuenca de retroarco-mar marginal.

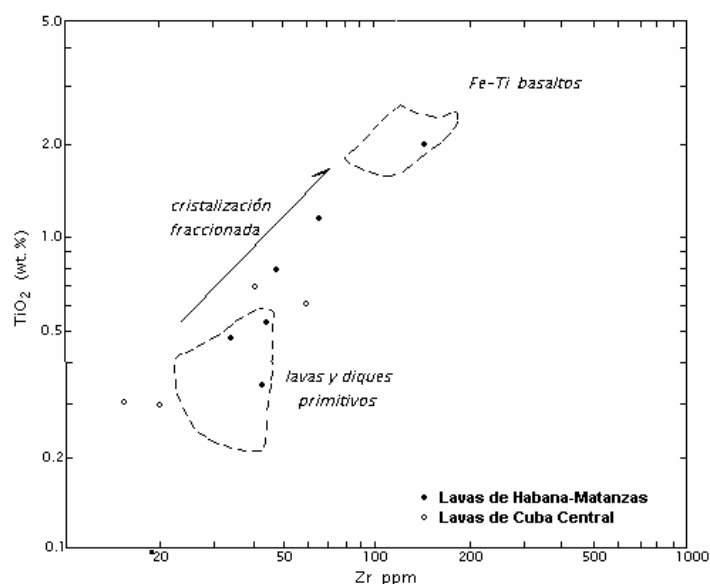


Diagrama de variación TiO<sub>2</sub> vs Zr, after Wilson M., 1989.

## APPLICATION OF IRRADIATION IN MINERALOGY

I. L. Komov

*34 Palladin Prospect, Kiev, 252142, Ukraine, E-mail: leon@voliacable.com*

The paper deals with the role of radiation mineralogy for the analysis of geological events. A thorough investigation of the mineral phase inhomogeneity, zonal-sectorial structure, anomalous pleochroism, dissolution-regeneration phenomena, and fixed irradiation, makes it possible to obtain new evidence of conditions of mineral genesis. As it follows from the patterns that are produced, an inhomogeneous internal structure is established in natural crystals. The modifications in the internal structure (zonality, sectorial and mosaic structure, traces of dissolution-regeneration) correlate with the content of structural impurities and their mode of occurrence. The patterns of originally homogeneous and transparent minerals as revealed by  $\gamma$ -irradiation are the reflections of these properties. Irradiation and etching supplement each other and allow the visualization of different elements of the real structure of minerals, and can decipher changes in physico-chemical parameters during growth of minerals. A zonal and sectorial distribution of colour was traced in numerous crystals of quartz from hydrothermal veins in the Urals, Aldan, and Pamir. Zonality, which is most distinctly manifested in the smoky-citrine varieties, is the basic characteristic feature of these crystals.

There are various possibilities for using the methods of radiation mineralogy when searching for mineral deposits: a) the detection of latent ore bodies by colour zonality, b) the determination of accumulations of radioactive ores from the defects in surrounding minerals, and c) the sorting of the veins by the ore content. When irradiated, the non-ore-bearing quartz becomes uniformly smoky. Anon-uniform, variegated, jet-like, usually smoky-citrine colour is observed in non-productive varieties. Gold-bearing quartz veins are characterized by a high intensity of aluminium centres in connection with quartz formation at high alkaline activity (sodium) in mineral-forming solutions. Thus the use of the method of radiation mineralogy in the analysis of geological phenomena indicates their great potential in the solving of scientific and practical problems.

The vertical evolution of hydrothermal solutions is established from the results of mineral irradiation and colour generation. It is connected with a decrease in temperature and local pulsation determined by tectonic factors. The length of the unopened or annihilated part of the ore zone, the level of intrusion of the vein bodies, can be determined in such a way. It is established that the mineral, which concentrated different defects in the field of radioactive irradiation, are the indicators of migration and redistribution of radioactive elements in the concrete zones of geological space. The number of minerals used in industry can be increased by the applications of irradiation. In summary the advantage of the method of  $\lambda$ -irradiation is that actual information on mineral composition can be obtained. Locality, sensitivity, amount of information, and documentality are the important features of this method.



## **DETERMINACIÓN GEOCRONOLÓGICA DE ROCAS INTRUSIVAS (TRONDHJEMITAS) PRESENTES EN EL CINTURÓN TECTÓNICO DE VILLA DE CURA, VENEZUELA NOR-CENTRAL**

Ana Teresa Iztúriz Moreau

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Departamento de Ciencias de la Tierra, Núcleo de Investigación "Estudios del Medio Físico Venezolano", e-mail: [atizturiz44@hotmail.com](mailto:atizturiz44@hotmail.com)

El objetivo fundamental de este trabajo fue la determinación de la edad geocronológica de un conjunto de rocas ígneas ácidas intrusivas (trondhjemitas), localizadas en un afloramiento asociado a la unidad litológica Tiara / Las Hermanas en el Cerro Pariapán, al norte de la Ciudad de San Juan de Los Morros, capital del Estado Guárico, Venezuela. En primer lugar, se procedió a realizar la recolección de las muestras de rocas, en la localidad donde se encuentran, utilizando las técnicas tradicionales en geología. Seguidamente, se elaboraron secciones finas, análisis de difracción de rayos X (DRX) y de fluorescencia de rayos X (FRX) para determinar los minerales presentes y su composición química. Finalmente se enviaron ocho (8) kilos de trondhjemitas a ActLabs, en Canadá, para su datación isotópica por el método Uranio/Plomo (U/Pb). A través del análisis petrográfico fueron identificados el cuarzo y la albita como los minerales principales, los anfíboles como secundarios y los circones como minerales accesorios. Estos últimos, por contener uranio y plomo, se utilizaron para la datación isotópica. Tales resultados se corroboraron con los datos obtenidos a través de DRX y FRX. La información obtenida por FRX reveló una composición andesítica o intermedia para las rocas ígneas (dioritas y lavas) relacionadas con las trondhjemitas. Las trondhjemitas debieron formarse por un proceso de inmiscibilidad o cristalización fraccional a partir de un magma de composición andesítica en un ambiente de arco de islas volcánico. Las rocas analizadas tienen una edad de 120 millones de años aproximadamente, lo cual permite establecer una relación temporal entre las unidades litológicas que se hallan en la zona de estudio. Se pudo determinar que las trondhjemitas no intrusionan a las rocas pertenecientes a la Formación Garrapata, de carácter trubidítico, ya que las primeras son más antiguas que las segundas de edad Maastrichtiense-Paleoceno ( $65 \pm 5$  millones de años).

Palabras Claves: Bloque de Villa de Cura, Trondhjemitas, petrografía, datación isotópica.

Modalidad: Cartel



## **GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS DEL GRUPO DEL PLATINO EN LOS GABROS DE CAYO GRANDE (MACIZO OFIOLÍTICO MOA-BARACOA, CUBA ORIENTAL)**

S. Pereira-Ginga (1,2), J. Blanco-Moreno (2), A. Rodríguez-Vega (2), J.A. Proenza (1)

(1) *Universitat de Barcelona*

(2) *Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa*

En la zona de Cayo Grande afloran cuerpos de gabros incluidos dentro del Macizo Ofiolítico Moa-Baracoa. Este macizo representa la parte más oriental de la denominada Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba Oriental), y se caracteriza por presentar niveles mantélicos, niveles de gabros bandeados inferiores y niveles volcánicos discordantes. La secuencia mantélica tiene un espesor de "paleomanto" superior a 2.2 km y los niveles de gabros bandeados de ~ 300 m. Los niveles basales de gabros bandeados se componen predominantemente de gabros olivínicos y gabronoritas, y presentan un bandeo modal bien desarrollado de orientación N30°E, buzando ~30° al NW. Las ofiolitas del macizo Moa-Baracoa han sido interpretadas como ofiolita de zona de suprasubducción, formadas en una cuenca de trasera de arco (back arc basin).

Los cuerpos de gabro de la zona de Cayo grande están en contacto tectónico con harzburgitas mantélicas, y se componen mayoritariamente de gabros y gabronorita. Frecuentemente, estas rocas están mineralizadas: Ilmenita, titanomagnetita, sulfuros de Fe-Cu. Por otra parte, sobre los gabros de Cayo Grande se desarrolla una importante corteza de intemperismo relativamente madura, enriquecida en ilmenita.

En este trabajo presentamos un estudio geoquímico preliminar de la composición en elementos del grupo del platino (EGP) y Au (mediante ICP-MS en *Genalysis Laboratory Services Pty. Ltd* en Maddington, Australia) en muestras de gabros de Cayo Grande. Estos resultados representan los primeros análisis de EGP realizados en los gabros de las ofiolitas de Cuba Oriental.

Se han analizado dos conjunto de muestras: muestras pobres en sulfuros y otras muestras conteniendo pequeñas proporciones modales de sulfuros de Fe-Cu. En general las muestras analizadas presentan bajos valores de EGP y Au, pero las muestras con sulfuros presentan los mayores contenidos de EGP y Au. En ellas, los contenidos de Pd alcanzan valores de 46 ppb, los de Pt 21 ppb y los de Au 10 ppb. La morfología de los patrones de EGP normalizados a los valores condriticos, se caracterizan por una pendiente positiva desde los IPGE (elementos del grupo del Ir) a los PPGE (elementos del grupo del Pd). Estos patrones son similares a los que presentan los gabros bandeados del macizo ofiolítico de Haylayn (Omán), y de Troodos (Chipre).

Este enriquecimiento del Pt y Pd con respecto a Os, Ir y Ru en los gabros, puede ser explicado a partir de las diferencias de solubilidad del Ir al Pt en los magmas basálticos en función de variaciones en la fugacidad de oxígeno, lo que conllevaría a la precipitación tardía del Pt y Pd disuelto en los fundidos residuales con respecto a Os, Ir y Ru que quedan atrapado en los niveles mantélicos. Por otra parte, el enriquecimiento de los EGP (principalmente Pt y Pd) en las muestras más ricas en sulfuros es consistente con la afinidad calcófila de estos elementos.

Finalmente, el relativo enriquecimiento en Pt y Pd registrado en los gabros de Cayo Grande, podría estar indicando unas de las fuentes primarias de los altos contenidos en estos metales nobles encontrados en los pequeños placeres fluviales presentes en el macizo Moa-Baracoa. La fracción magnética de los concentrados pesados de estas cuencas muestran un relativo enriquecimiento en Pd (hasta 217 ppb) y Pt (hasta 127 ppb).

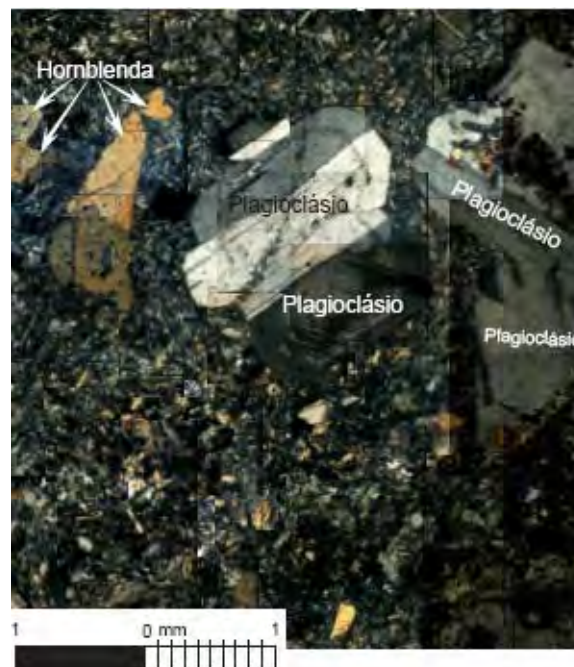


## ASPECTOS PETROGRAFICOS Y ALGUNAS PARTICULARIDADES METALOGENETICAS DE LA FACIES SUBVOLCANICA DEL SECTOR LOS MANGOS EN CUBA CENTRAL

Graciela de la C. Aguirre Guillot

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central. San Miguel del Padrón.  
Ciudad de la Habana. Cuba. CP11000. [chely@lacemi.cu](mailto:chely@lacemi.cu)*

Los datos obtenidos durante la realización de la caracterización petrográfica del sector Los Mangos, permitieron establecer algunas consideraciones que aportaron un mayor conocimiento del magmatismo de la región. Considerando la nomenclatura de Le Maitre *et al.* (1989) como criterio de clasificación, se obtuvo que las rocas del sector pueden ser agrupadas en rocas de composición básica hasta ácida con predominio de las intermedias. Los estudios petrográficos permitieron identificar una secuencia continua que va desde las variedades basálticas hasta las riolíticas, haciendo énfasis en la facie subvolcánica, correspondiente a los pórfidos de composición intermedia a ácida. Fue posible reconocer dos grupos fundamentales de minerales las plagioclasas y los anfíboles, teniendo al cuarzo como subordinado. Fueron identificadas también, fases hidratadas primarias en las rocas de este sector. Se observaron señales evidentes de modificaciones ocurridas a bajas temperaturas materializadas por la presencia de zeolitas en fracturas y argilización de la plagioclasa, entre otras. Se hallaron factores que pueden ser utilizados durante la búsqueda y prospección de nuevos depósitos de sulfuros como son la relación existente entre la mineralización y las tobas como rocas controladoras de la mineralización, La presencia de minerales del grupo de las zeolitas, de los carbonatos indicando de la presencia de fluidos durante y después de la cristalización del magma y finalmente la cloritización, sericitización y silicificación como procesos de alteración más importantes asociados a las concentraciones minerales.



Andesita porfídica: Fenocristales euhédricos de hornblenda y plagioclasa zonada, a veces seccionados por bahías de corrosión. La matriz microlítica a felsítica, constituida por estos mismos minerales además de minerales opacos (pirita, ocasionalmente esfalerita), vidrio desvitrificado. Minerales secundarios (clorita y cuarzo) ocurren con granulación muy fina y están distribuidos de forma aleatoria.



## **NUEVOS DATOS PETROQUÍMICOS Y PETROGRÁFICOS DE LAS MAGMATITAS Y METAMORFITAS DEL BLOQUE ORIENTAL CUBANO.**

**Antonio Rodríguez Vega**

*Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Las coloradas S/N, Moa .Holguín. Cuba.*

*E. Mail: [arvega@ismm.edu.cu](mailto:arvega@ismm.edu.cu) ; [arvega48@yahoo.com](mailto:arvega48@yahoo.com) .*

### **RESUMEN**

El presente trabajo tiene la finalidad de ofrecer toda una serie de datos muy recientes relacionados con el estudio petroquímico y petrográfico de rocas magmáticas intrusivas y efusivas, así como metamorfitas de diferentes ambientes geotectónicos que se manifiestan dentro de los límites del bloque oriental cubano, destacándose las siguientes:

- Rocas magmáticas intrusivas y efusivas relacionadas con la asociación ofiolítica y el arco volcánico cretácico en la región nororiental de la isla de Cuba (Sagua-Moa-Baracoa)
- Lamprófiro y rocas de marcada tendencia alcalina difundidas predominantemente en un área de la Sierra Maestra en la que se relacionan espacialmente con las formaciones cretácicas geológicas consideradas por diferentes investigadores como basamento del arco volcánico cretácico.
- Metamorfitas de alta presión retrogradadas, esencialmente metagabros, metavulcanitas y trondhjemitas asociadas, relacionadas con las ofiolitas meridionales, en la región sur oriental de la isla de Cuba (Sierra del Convento).

Los datos petroquímicos tienen su base en determinaciones analíticas de elementos mayores y trazas efectuados en el laboratorio del Instituto Geominero de Portugal, dentro del marco del proyecto internacional de las ofiolitas y su metalogenia patrocinado por el programa CYTED; mientras que las investigaciones petrográficas son el fruto de la cooperación con reconocidos especialistas de las universidades de Clausthal, (Alemania) y Barcelona y Granada (España).

Los datos obtenidos permiten profundizar en el conocimiento geológico del bloque oriental cubano y pudieran ser de utilidad en la elaboración de nuevos modelos geotectónicos de carácter regional, en particular para el bloque oriental cubano. Las ideas sobre un posible modelo serán expuestas y argumentadas por el autor del trabajo.

### **ABSTRACT**

The present work has the purpose of offering an entire series of very recent data related with the petrochemical and petrographic study of intrusive and effusive magmatic rocks, as well as metamorphites of different geotectonic ambient that are manifested inside the limits of the Cuban oriental block, standing out the following ones:

- Intrusive and effusive magmatic rocks related with the ofiolitic suite and the cretacic volcanic arc in the northeastern region of the island of Cuba (Sagua-Moa-Baracoa)
- Lamprofires and rocks of marked alkaline tendency diffused predominantly in the Sierra Maestra area in which they are related spacely with geological cretacic



formations considered by different investigators as basement of the cretacic volcanic arc.

- High pressure retrograded metamorfites, essentially metagabros, metavulcanites and associate trondhjemites, related with the southern ofiolites, in the oriental south region of the island of Cuba (Sierra del Convento).

The petrochemical data have their base in analytic determinations of major and traza element, including the Rare Earth Elements, made in the laboratory of the Instituto Geominero de Portugal, inside the mark of the international project of the ofiolites and their metalogenia sponsored by the program CYTED; while the petrografic investigations are resultate of the cooperation with grateful specialists of the universities of Clausthal, (Germany) and Barcelona and Granada (Spain).

The obtained data allow to deepen in the geologic knowledge of the Cuban oriental block and they could being of utility in the elaboration of new geotectonic model of regional character, in particular for the Cuban oriental block.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene la finalidad de ofrecer toda una serie de datos muy recientes relacionados con el estudio petroquímico y petrográfico de rocas magmáticas intrusivas y efusivas, así como metamorfitas de diferentes ambientes geotectónicos que se manifiestan dentro de los límites del bloque oriental cubano, destacándose las siguientes:

- Rocas magmáticas intrusitas y efusivas relacionadas con la asociación ofiolítica y el arco volcánico cretácico en la región nororiental de la isla de Cuba (Sagua-Moa-Baracoa).
- Lamprófiro y rocas de marcada tendencia alcalina difundidas predominantemente en un área de la Sierra Maestra en la que se relacionan espacialmente con las formaciones cretácicas geológicas consideradas por diferentes investigadores como basamento del arco volcánico cretácico.
- Metamorfitas de alta presión retrogradadas, esencialmente metagabros, metavulcanitas y trondhjemitas asociadas, relacionadas con las ofiolitas meridionales, en la región sur oriental de la isla de Cuba (Sierra del Convento).

Los datos petroquímicos tienen su base en determinaciones analíticas de elementos mayores y trazas, incluyendo los Elementos de las Tierras Raras, efectuados en el laboratorio del Instituto Geominero de Portugal, dentro del marco del proyecto internacional de las ofiolitas y su metalogenia patrocinado por el programa CYTED; mientras que las investigaciones petrográficas son el fruto de la cooperación con reconocidos especialistas de las universidades de Clausthal, (Alemania) y Barcelona.

En total fueron analizadas 36 muestras para componentes mayores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Fe total como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MnO, CaO, MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y P.I.), once para componentes mayores y elementos en trazas (Ni, V, Be, Mo, As, Co, Cd, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Ta, Sn, Th, Cu, Cr, Ag, B, Zn, Sb, Pb y Au) y diez para componentes mayores y Tierras raras (La,



Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, y Lu). De las muestras analizadas para componentes mayores 26 pertenecen a la región de Moa-Baracoa, 9 a la Sierra del Convento y 1 a la Sierra del Purial (tabla 1), mientras que de las analizadas para componentes mayores y elementos en trazas 6 son de la región de Moa-Baracoa y 5 de la Sierra del Convento (tabla 2). Todas las analizadas para componentes mayores y trazas pertenecen a rocas de la región de Moa-Baracoa (tabla 3).

Los datos obtenidos permiten profundizar en el conocimiento geológico del bloque oriental cubano y pudieran ser de utilidad en la elaboración de nuevos modelos geotectónicos de carácter regional, en particular para el bloque oriental cubano. Las ideas sobre un posible modelo serán expuestas y argumentadas por el autor del trabajo.

## ANÁLISIS DE LOS DATOS PETROQUÍMICOS DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las rocas de la región de Moa clasificadas como **dunitas plagioclásicas** se distinguen por sus bajos contenidos de  $\text{SiO}_2$  (entre 41.74 y 38.22 %) con elevados contenidos de  $\text{MgO}$  (entre 34.40 y 24.44). Los contenidos de  $\text{SiO}_2$  presentes en estas rocas se corresponden con los de las dunitas, mientras que los contenidos de  $\text{MgO}$  son muy inferiores a los de estas rocas, pero significativamente superiores a los típicos de las troctolitas. Por otro lado, los contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{CaO}$  son notablemente más elevados que los propios de las peridotitas e inferiores a los de las troctolitas. Los contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  son elevados y guardan buena correspondencia con los de las dunitas, mientras que los contenidos de  $\text{Na}_2\text{O}$  son notablemente bajos, indicando que la plagioclasa presente en la roca presenta una composición muy cercana a la anortita. Los altos valores de P.I. indican que estas dunitas impregnadas se encuentran fuertemente serpentinizadas (tabla I). La naturaleza de estas rocas no está del todo clara; algunos investigadores consideran que las mismas son el resultado de procesos de fusión parcial/segregación o de impregnación por percolación interporos de fluidos magmáticos resultantes de la fusión parcial de los materiales del manto superior, mientras que otros las consideran como ortocumulados de olivino con plagioclasa intersticial producida por la cristalización de líquidos magmáticos de composición anortítica. Nosotros, por las evidencias de campo nos inclinamos por esta última suposición, pero en realidad se requieren de estudios petrográficos texturales más profundos para dilucidar esta cuestión.

En la región de Moa existe una gran diversidad de garbos, desde troctolitas hasta gabropegmatitas, pero todos presentan como rasgo común los bajísimos contenidos de  $\text{TiO}_2$  y de  $\text{K}_2\text{O}$ . Los contenidos de Fe Total ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en estos garbos tienden a ser notablemente bajos, en comparación con sus contenidos normales en estas rocas, mientras que los contenidos de  $\text{MgO}$  son relativamente altos, lo que conjuntamente con los contenidos de  $\text{Na}_2\text{O}$  está a favor del marcado carácter cumulativo de los mismos, que en general poseen una distribución de elementos mayores muy semejante a los adcumulatos plag-cpx-ol de los gabros cumulativos de otras regiones del mundo, como es el caso de Oman. La relación  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  en algunos gabros muy leucocráticos indica que la plagioclasa es esencialmente labrador (tabla I, muestra 14).

El Complejo Cerrajón, cuyas rocas ampliamente distribuidas hacia el límite sur de la región de Moa en forma de extensos afloramientos, ha sido considerado por algunos investigadores como una formación geológica constituida esencialmente por diabasas, muy probablemente representativa del complejo de diques paralelos de la asociación ofiolítica. Nuestras observaciones de campo en los cauces de los ríos Moa (en las



inmediaciones de Farallones de Moa) y San Mateo (Catalina de Sagua) no confirman esta consideración; sin descartar la posible existencia de cuerpos de apariencia diabásica, consideramos que, en su conjunto, el Complejo Cerrajón no presenta los rasgos petrográficos y estructurales característicos de un complejo de diques paralelos. En las localidades estudiadas predominan los gabroides de grano fino, observándose notables cambios faciales a escala de afloramiento, como consecuencia de la brusca transición de gabroides de grano fino y medio a cuerpos irregulares de garbos de grano grueso y en ocasiones hasta pegmatoides. Existe la posibilidad de que como consecuencia de ciertos fenómenos de diferenciación magmática se encuentren rocas de composición más ácida, como dioritas, dioritas cuarcíferas y hasta plagiogranitos. Los datos disponibles de elementos mayores y trazas muestran ciertas diferencias petroquímicas entre las rocas del Complejo Cerrajón y los basaltos, supuestamente MORB, de la región de Moa-Baracoa; así tenemos que las rocas del Complejo Cerrajón son significativamente más pobres en  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que los basaltos de la región Moa-Baracoa (tabla I).

Tabla I: Distribución de los componentes mayores en las magmatitas y metamorfitas del bloque oriental cubano.

Com. Q. (%)	Dunitas plagioclásicas de Moa							Gabros de Moa				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\text{SiO}_2$	38,39	39,22	37,12	38,32	38,44	41,74	38,49	39,84	48,09	46,18	46,21	46,26
$\text{Al}_2\text{O}_3$	8,70	9,32	4,82	5,55	5,41	11,94	11,71	22,46	21,39	19,26	15,28	15,27
Fe total ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	7,84	8,40	8,76	10,10	9,91	7,61	6,18	3,35	4,90	7,29	5,34	5,33
MnO	0,10	0,10	0,12	0,13	0,13	0,11	0,07	0,05	0,08	0,10	0,11	0,11
CaO	5,24	6,19	3,67	4,31	4,18	9,09	5,53	12,71	13,14	11,47	14,10	13,96
MgO	30,06	27,07	34,40	30,15	30,59	24,44	26,07	14,11	7,85	11,77	12,54	12,56
$\text{Na}_2\text{O}$	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,16	< 0,20	0,50	2,06	1,51	1,58	1,58
$\text{K}_2\text{O}$	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,04	0,03
$\text{TiO}_2$	0,05	0,11	0,10	0,16	0,16	0,050	0,04	< 0,04	0,19	0,15	0,26	0,26
$\text{P}_2\text{O}_5$	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
P. I.	9,44	9,44	10,85	11,00	11,17	4,55	11,80	6,81	1,88	1,98	4,25	4,10
Suma	99,82	99,86	99,84	99,72	99,99	99,73	99,89	99,83	100,1	99,71	99,71	99,46
C. Quim.	Gabros de Moa						Metagabros S. Convento				M.S.P.	M.S.C.
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\text{SiO}_2$	45,90	47,03	43,97	40,42	47,13	42,91	44,05	47,16	44,75	49,41	48,70	51,58
$\text{Al}_2\text{O}_3$	15,21	25,98	18,26	22,65	12,24	21,23	11,00	14,68	13,40	16,08	14,54	11,81
Fe total ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	4,86	1,72	5,02	3,50	6,50	4,31	14,28	11,41	10,74	7,59	10,10	11,66
MnO	0,09	0,03	0,08	0,05	0,12	0,06	0,30	0,13	0,20	0,13	0,20	0,15
CaO	13,38	8,41	12,45	10,90	14,49	11,03	11,25	12,09	10,49	9,76	8,55	3,16
MgO	13,74	6,13	14,37	13,84	14,03	12,95	10,81	7,65	14,63	9,21	9,03	10,39
$\text{Na}_2\text{O}$	1,27	3,89	1,18	1,17	1,37	1,66	2,05	2,75	1,85	3,18	2,23	4,47
$\text{K}_2\text{O}$	0,08	0,13	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,64	0,16	0,34	0,68	0,76	0,72
$\text{TiO}_2$	0,34	0,33	0,10	< 0,04	0,42	0,05	2,01	1,67	0,85	0,72	0,61	2,37
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,03	0,05	< 0,03	< 0,03	0,06	< 0,03	0,67	0,14	0,20	0,06	0,07	0,18
P. Rubr	4,69	6,15	4,29	6,93	3,28	5,56	2,58	1,67	2,26	2,76	4,78	3,20
Suma	99,59	99,85	99,72	99,46	99,64	99,76	99,64	99,51	99,71	99,58	99,57	99,69
Com.Q. (%)	Granitoides S. Convento				Rocas Complejo Cerrajón				Basaltos de Moa-Baracoa			
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
$\text{SiO}_2$	69,05	77,24	72,90	68,52	48,25	48,15	49,65	50,29	53,02	47,60	47,35	46,23
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16,60	11,55	16,59	19,20	16,12	16,05	15,08	15,09	15,60	13,60	14,01	14,08
Fe total ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0,86	0,62	0,4	0,58	7,84	8,00	8,78	6,46	11,65	12,07	11,25	13,40
MnO	0,05	0,05	< 0,05	< 0,05	0,11	0,11	0,15	0,13	0,27	0,22	0,19	0,25





<b>CaO</b>	4.13	1.47	1.90	2.03	8,22	8,14	11,18	13,92	4,46	8,86	7,20	8,77
<b>MgO</b>	1.45	0.41	0.32	0.49	9,05	9,27	8,14	8,49	3,39	7,68	12,25	8,21
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	6.37	3.53	6.03	6.48	3,59	3,64	2,62	2,17	4,44	2,74	1,71	2,91
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.12	3.35	0.89	1.57	0,08	0,08	0,17	0,09	0,35	0,65	0,50	0,03
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.30	0.09	< 0.05	< 0.05	0,75	0,75	1,18	0,54	1,17	1,87	1,77	1,04
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.22	0.20	0.12	0.15	0,06	0,06	0,05	< 0,03	0,20	0,17	0,16	0,20
<b>P. I.</b>	0.93	1.53	0.86	1.01	5,58	5,49	2,83	2,44	5,21	4,36	4,06	5,33
<b>Suma</b>	100.0	99.96	100.0	100.02	99.68	99.74	99.83	99.68	99.76	100.06	100,4	100,4

En cuanto a la distribución de las tierras raras las diferencias son muy notables y aunque suelen presentar patrones normados a condritos muy semejantes, los basaltos de la región Moa-Baracoa presentan contenidos muy elevados de tierras, comparados con los que presentan las rocas del Complejo Cerrajón (tabla III). Estas diferencias petroquímicas no debieran ser tan acentuadas si los basaltos en cuestión fueran tipo MORB las rocas del Complejo Cerrajón pertenecieran a el complejo de diques paralelos de la asociación ofiolítica presente en la región de Moa-Baracoa.

Desde nuestro punto de vista, teniendo en cuenta lo anteriormente escrito con relación a las rocas del Complejo Cerrajón, estas pudieran corresponderse con gabroides hipabisales, también conocidos como gabroides de alto nivel cortical o isotrópicos, que en algunas ofiolitas, como las de Omán, se desarrollan entre los gabros bandeados del complejo cumulativo y las diabasas del complejo de diques paralelos, penetrando con mucha frecuencia a estos últimos. La estrecha relación espacial de estos gabros hipabisales con los diques paralelos no excluye la posibilidad de que en determinadas áreas en que aflore el Complejo Cerrajón se encuentren rocas pertenecientes a ambos objetos geológicos.

Los basaltos se encuentran dispersos por toda la región de Moa-Baracoa en forma de pequeños y medianos afloramientos emplazados tectónicamente. Los afloramientos de mayor envergadura se distribuyen hacia el límite norte de la región en varias localidades, destacándose las siguientes: Centeno y Jucaral (en las proximidades de Moa), Cayo Grande, Morell, Navas, Río Báez y Duaba (esta última en las inmediaciones de Baracoa). En estos basaltos aun es posible distinguir, en numerosos afloramientos, la estructura típica de las lavas en almohadillas, aunque se encuentran muy fuertemente tectonizados y en la mayoría de los casos notablemente meteorizados.

Los metagabros de la Sierra del Convento, enmarcados dentro de las denominadas ofiolitas meridionales, presentan notables diferencias petroquímicamente con relación a los gabros relacionados con las ofiolitas de la región de Moa, las cuales se manifiestan tanto en la distribución de los elementos mayores como en trazas. Los metagabros de la Sierra del Convento presentan contenidos significativamente más elevados de Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que los de la región de Moa, al igual que como sucede con los contenidos de V (en plena correspondencia con los contenidos de TiO<sub>2</sub>), Y, Zr, Nb y Ba, mientras que los de Moa son más ricos en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Ni, Sr, Cr y Au (tabla II).

La metavulcanita de Sierra del Convento (M.S.C), que se presentan como un esquisto glaucofánico, entre todas las rocas estudiadas, es la que presenta los contenidos mas elevados de TiO<sub>2</sub> y Na<sub>2</sub>O, así como el segundo contenido más alto de K<sub>2</sub>O, este último solamente superado por el de la metamorfita de Sierra del Purial (M.S.P.), mientras que el contenido de CaO es significativamente bajo, el de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y el SiO<sub>2</sub> ligeramente alto (tabla I).





Los metagabros y metavulcanitas de Sierra del Convento son, hasta el momento, las únicas rocas estudiadas petrográficamente con suficiente profundidad, por lo que consideramos pertinente ofrecer más adelante sus descripciones.

Los granitoides de Sierra del Convento han sido descritos con anterioridad por otros investigadores como rocas cuarzo feldespáticas, aplitas, pegmatitas, trondhjemitas, dioritas cuarcíferas y plagiogranitos. En realidad son pequeños y medianos cuerpos magmáticos en los que se puede observar fuertes variaciones de los contenidos de cuarzo, plagioclasa y minerales máficos, particularmente hornblenda y mica; en ellos también suelen estar presentes minerales típicamente metamórficos, como es el caso del granate. Como regla general estos cuerpos se relacionan espacialmente con las anfibolitas, pero según las observaciones de campo pudieran considerarse como inyecciones magmáticas algo más tardías, tal y como indica el contacto apreciablemente discordante de estos cuerpos magmáticos con los planos de foliación de las anfibolitas en muchos afloramientos. Estos granitoides se caracterizan por presentar contenidos sumamente elevados de  $\text{Na}_2\text{O}$ , generalmente superiores al 6 %, acompañados de contenidos significativamente bajos de  $\text{K}_2\text{O}$ , en ocasiones inferiores a 0.2 %, por lo que debe esperarse en ellos una muy escasa presencia o ausencia total de feldespatos potásicos. Los bajos contenidos de Fe total y MgO en estas rocas están en plena correspondencia con su marcado carácter leucocrático, mientras que los bajos contenidos de CaO están dado por el carácter ácido de la plagioclasa (albita u oligoclasa). De acuerdo con los contenidos de los componentes mayores exhibidos por los granitoides de Sierra del Convento, dentro de marco de la clasificación internacional de las rocas ígneas, ocuparían el campo correspondiente a las tonalitas; sólo la muestra 26, por sus contenidos de  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  pudiera ocupar los campos correspondientes a las granodioritas o los granitos (tabla I). Desde nuestro punto de vista, estas intrusiones cuarzo-feldespáticas sódicas pudieron haber desempeñado un importante papel en el proceso de retrometamorfismo experimentado por las metamorfitas en la Sierra del Convento, tal y como se ha considerado en otros macizos en los que estos cuerpos guardan relación espacial con eclogitas y las anfibolitas.

Tabla II: Distribución de componentes mayores y elementos en trazas en algunas rocas magmáticas y metamórficas del bloque oriental cubano.

Com. Quím. (%)	Dunitas plagioclásicas de Moa				Gabros de Moa		Metasedimentitas Sierra del Convento			Metagabros Sierra del Convento	
	4	5	6	8	12	11	37	38	39	19	20
$\text{SiO}_2$	38,32	38,44	41,74	39,84	46,26	46,21	85,16	85,25	36,12	44,05	47,16
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,55	5,41	11,94	22,46	15,27	15,28	5,08	5,12	5,61	11,00	14,68
Fe total ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	10,10	9,91	7,61	3,35	5,33	5,34	3,11	3,15	2,27	14,28	11,41
MnO	0,13	0,13	0,11	0,05	0,11	0,11	0,19	0,19	0,10	0,30	0,13
CaO	4,31	4,18	9,09	12,71	13,96	14,10	0,98	0,97	28,21	11,25	12,09
MgO	30,15	30,59	24,44	14,11	12,56	12,54	1,54	1,54	1,36	10,81	7,65
$\text{Na}_2\text{O}$	< 0,20	< 0,20	0,16	0,50	1,58	1,58	2,32	2,38	3,65	2,05	2,75
$\text{K}_2\text{O}$	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,03	0,04	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,64	0,16
$\text{TiO}_2$	0,16	0,16	0,050	< 0,04	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	2,01	1,67
$\text{P}_2\text{O}_5$	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,19	0,19	0,08	0,67	0,14
P.I.	11,00	11,17	4,55	6,81	4,10	4,25	0,69	0,63	22,19	2,58	1,67
Suma	99,72	99,99	99,73	99,83	99,46	99,71	99,51	99,71	99,83	99,60	99,51
<b>Elementos en trazas (ppm)</b>											
Ni	1873	1899	1414	637	453	458	95	74	33	51	97
V	66	68	64	14	158	155	62	64	61	464	380
Be	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1
Mo	4	6	<2	<2	<2	2	<2	2	5	3	<2



As	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Co	104	97	82	37	32	30	<10	<10	16	26	35
Cd	4	1	2	<1	1	<1	<1	1	3	2	1
Rb	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Sr	---	27	39	161	163	162	30	29	298	97	108
Y		<3	<3	<3	6	6	26	26	11	36	29
Zr	<3	3	<3	3	8	9	51	51	53	38	67
Nb	<3	<3	4	<3	4	4	4	3	7	17	8
Ba	---	8	16	20	17	23	25	29	538	311	56
Ta	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
Sn	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Th	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cu	76	71	95	16	85	88	27	30	38	98	11
Cr	990	1010	1102	125	1983	1800	126	62	14	338	206
Ag	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
B	61	48	56	66	71	60	49	68	15	42	66
Zn	76	97	65	77	66	60	101	107	117	241	70
Sb	<20	<20	<20	<20	<20	26	<20	<20	<20	<20	<20
Pb	16	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	12	<10	<10
Au	13	11	10	24	27	55	<9	10	<9	<9	26

Tabla III: Distribución de los elementos de las tierras raras (ppm) y componentes mayores (%) y en algunas rocas magmáticas de la región de Moa-Baracoa.

REE/CM	Dunitas Plag. Moa	Garbos de Moa				Rocas del Complejo Cerrajón			Volcánicos Moa-Baracoa (lavas)	
	2	9	10	17	40	29	31	32	33	34
La	<1	<1	<1	<1	<1	1.0		<1	6.7	4.0
Ce	<3.3	<3.3	<3.3	<3.3	<3.3	3.3	3.3	<3.3	17.8	12.6
Pr	<0.2	<0.2	<0.2	0.5	<0.2	0.7	0.7	0.2	2.8	2.2
Nd	<1.8	<1.8	<1.8	2.5	<1.8	4.3	4.7	<1.8	14.2	11.7
Sm	<0.3	0.4	0.3	1.0	0.5	1.8	2.0	0.8	4.0	3.9
Eu	<0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.7	0.9	0.5	1.3	1.4
Gd	0.3	0.5	0.4	1.5	0.8	2.6	3.0	1.5	4.4	5.2
Tb	<0.2	<0.2	<0.2	0.3	0.2	0.5	0.5	0.3	0.7	0.9
Dy	0.4	0.8	0.6	2.0	1.2	3.2	3.7	2.0	4.6	6.2
Ho	<0.2	0.2	<0.2	0.4	0.3	0.7	0.8	0.4	1.0	1.4
Er	0.3	0.5	0.4	1.2	0.7	2.0	2.3	1.2	2.9	3.9
Tm	<0.2	0.2	<0.2	0.2	<0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.6
Yb	0.4	0.4	0.4	1.1	0.7	2.0	2.2	1.2	2.9	3.8
Lu	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	0.4	0.6
SiO <sub>2</sub>	39.22	48.09	46.18	47.13	--	48.25	49.65	50.29	53.02	47.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.32	21.39	19.26	12.24	--	16.12	15.08	15.09	15.60	13.60
Fe Tot. (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	8.40	4.90	7.29	6.50	--	7.84	8.78	6.46	11.65	12.07
MnO	0.10	0.08	0.10	0.12	--	0.11	0.15	0.13	0.27	0.22
CaO	6.19	13.14	11.47	14.49	--	8.22	11.18	13.92	4.46	8.86
MgO	27.07	7.85	11.77	14.03	--	9.05	8.14	8.49	3.39	7.68
Na <sub>2</sub> O	<0.20	2.06	1.51	1.37	--	3.59	2.62	2.17	4.44	2.74
K <sub>2</sub> O	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	--	0.08	0.17	0.09	0.35	0.65
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.19	0.15	0.42	--	0.75	1.18	0.54	1.17	1.87
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.03	<0.03	<0.03	0.06	--	0.06	0.05	<0.03	0.20	0.17
P. I.	9.44	1.88	1.98	3.28	--	5.58	2.83	2.44	5.21	4.6
Suma	99.86	100.12	99.71	94.64	--	99.68	99.83	99.68	99.76	100.06



## ANÁLISIS DE LOS DATOS PETROGRÁFICOS DE LAS METAMORFITAS DE SIERRA DEL CONVENTO

### Meta-gabros.

Estas rocas provienen de cuerpos geológicos, muy probablemente originalmente *mela-gabros*, que fueron metamorizados bajo las condiciones de la *facies alta* de las anfibolitas. Las rocas resultantes son anfibolitas con granates que muestran una *textura gneísica*. Este estado está todavía bien visible en numerosas muestras.

En muchas muestras se nota una alteración retrograda bajo condiciones de la ***facies de los esquistos verdes***, documentada por cambios de la textura así como alteraciones de minerales. En todas las muestras es posible reconocer los minerales originales, al menos por las formas originales de sus granos, mientras que la textura magmática original solo se identifica con mucha dificultad por la forma de los granos y la orientación ligeramente paralela de las hornblendas en algunas muestras. Durante el primer metamorfismo, se produjo la transformación de los piroxenos magmáticos en hornblendas. Las escasas plagioclasas posiblemente experimentaron una nueva orientación debido a una recrystalización. El ***granate*** es el mineral metamórfico típico, junto con la formación de ***titanita***. Un mineral de mena, probablemente ***titanomagnetita***, se transformó en ***leucoxeno*** y ***hematita***.

Durante el segundo metamorfismo (de facies de esquistos verdes), las hornblendas se transformaron en ***hornblendas azul verdosa*** (hornblenda actinolítica y actinolita, esta última como consecuencia de un metamorfismo más intenso). También en esta fase ocurrió la formación de epidota, clinozoisita, albita, clorita, muscovita, titanita y hematita, las dos últimas recrystalizadas y con nueva orientación. Una esquistosidad  $s_2$  es claramente visible, pero en ningún caso penetra completamente la roca. Dentro de estas rocas anfibolíticas están presentes rocas caracterizadas como auténticas hornblenditas y gneis con hornblenda. Macroscópicamente en ellas se identifican partes ricas y pobres en plagioclasa, con anfíboles (70-80%) + plagioclasa + minerales de mena. La textura carece de orientación y puede ser interpretada como representante de la cristalización magmática original. En la parte rica en plagioclasa, hay una relación plagioclasa/anfibol de 50:50. En estas rocas se observa la presencia de titanita y apatito como minerales accesorios, así como trazas de clinopiroxeno dentro de los anfíboles, como relictos no transformados; la transformación metamórfica de la plagioclasa va desde turbidez ligera hasta sausrización total (formación de albita + epidota + calcita bajo condiciones metamórficas). Las epidotas formadas retrogradacionalmente son (en las partes claras) no sólo más frecuentes, sino también más grandes, indicio de una reacción mineralógica más intensa en estas partes durante la retromorfosis. La hornblenda es una ***tschermakita pargasítica*** (según el análisis microscópico) que se transforma progresivamente durante la deformación  $s_2$  en hornblenda actinolítica, llegando finalmente hasta actinolita. Se ven actinolitas neoformadas dentro de las hornblendas grandes como fenómenos nuevos de reacción, y especialmente epidota + cuarzo en los límites de los granos y sobre todo en los planos de la esquistosidad  $s_2$ , los cuales probablemente se formaron a costa del granate. La orientación textural de los dos minerales paragenéticos está en favor de esta interpretación.



Las partes más oscuras de estas rocas llegan a ser prácticamente monominerales y presentan los rasgos distintivos de un protolito magmático. En ellas el metamorfismo retrogrado afecta a todos los minerales, presentando hornblenda actinolítica y actinolita, la primera dentro de los núcleos de las formas preservadas de hornblenda y la última en partes marginales y en planos de cizalla. Estas partes han sido deformadas tectónicamente con mayor intensidad, lo que causa una alteración retrograda más fuerte, observándose que la  $S_2$  es paralela a la  $s_1$ , documentado por la orientación de las actinolitas neoformadas. Hay presencia de esfena orientada según  $s_1$  y  $s_2$ , lo que indica la rotación de algunos minerales durante la foliación y la cantidad de minerales de mena es más grande, incluyendo la presencia de dos sulfuros no identificables con una relación 10:1 y parcialmente alterados; algunos anfíboles están fuertemente cizallados paralelamente al clivaje (110). Los planos de la foliación se encuentran enriquecidos en muscovita y albita, las cuales se encuentran bien alineadas.

En las partes oscuras con la diferencia que hay restos de piroxeno magmático (partes del educto) y las hornblendas son más grandes y es remarcable la falta de plagioclasas y, consecuentemente, los posibles minerales secundarios que pudieran formarse a partir de ellas. Con frecuencia se nota la presencia de zircón y blastos más grandes de esfena y leucoxeno, el último formado retrogradacionalmente a costa de la primera. Hay un granate intercrecido con la esfena que no fue deformado por la foliación, logrando así su preservación, lo que también está a favor de la idea de que estas rocas son anfibolitas con granates. Esporádicamente dentro de la hornblenda se revelan zircones con aureolas pleocroicas.

Las rocas consideradas como auténticas anfibolitas granatíferas presentan una fábrica paralela a la  $s_1$  original con grandes blastos de hornblenda, observándose una segunda deformación, que como resultado de una segunda blastesis (metamorfismo) dio lugar a nuevas texturas y nuevos minerales (hornblenda → hornblenda azul-verde → actinolita) indicadores de deformación y transformación continuas controladas por el enfriamiento y la intensidad de la deformación, durante la cual se pasó desde la facies baja de las anfibolitas hasta la facies de los esquistos verdes. Esto es el resultado de desenterramiento continuado de las rocas bajo un continuo stress, lo que está comprobado por el espectro completo de las texturas y transformaciones de los minerales observados en las muestras analizadas. Todo este proceso favoreció también la formación de subgranos de hornblenda en las partes tectónicamente más deformadas, así como la formación de epidota en las mismas y en los planos de cizalla  $s_2$ . Los granates resultantes de este proceso presentan inclusiones de cuarzo y esfena. Durante el metamorfismo retrogrado también se cuarzo, que aparece en forma lenticular junto con leucoxeno y clinozoisita. La presencia de este último mineral indica que todo el proceso llegó a las condiciones de presiones y temperaturas correspondientes a la facies de esquistos verdes.

### **Metavulcanitas (Esquistos Glaucofánicos).**

Las rocas de carácter esquistoso relacionadas espacialmente con los **metagabros** pueden ser catalogadas como metavulcanitas y metasedimentitas. En ellas se nota solamente una deformación y una blastesis claras y no se puede ver alteración retrograda alguna, de manera que se puede suponer que, con relación a los metagabros, estas rocas pertenecen a objetos geológicos que durante el metamorfismo se encontraban a menor profundidad o no fueron subducidos tan profundamente. Basado en la presencia de



glaucófana, se puede concluir con seguridad que las rocas provienen de una zona de subducción y que sus protolitos fueron rocas sedimentarias y magmáticas efusivas. Los esquistos azules, que son los más comunes, presentan en su composición glaucófana, granate, cuarzo, epidota, albíta, esfena, circón, titanomagnetita, leucoxeno y hematita, estos dos últimos como minerales secundarios. La textura de estos esquistos es típicamente nemato-granoblástica con una alineación muy buena y en ellos se observa sólo una fase de deformación ( $s_1$ ). En la mayoría de los casos estas rocas corresponden a metatufitas.

## COCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Existen notables diferencias petroquímicas entre las gabros de las ofiolitas de la región de Moa-Baracoa y los metagabros de las ofiolitas meridionales (Sierra del Convento) tanto por la distribución de los componentes mayores como la de los elementos en trazas.

Las lavas basálticas de la región de Moa-Baracoa se diferencian significativamente de las rocas gabroides de denominado Complejo Cerrajón, tanto por la distribución de los componentes mayores como por la distribución de las Tierras Raras, lo que no apoya la hipótesis de que las rocas de este complejo se correspondan con el complejo de diques paralelos de las ofiolitas de la región, considerando que los basaltos de Moa-Baracoa son tipo MORB.

Las rocas cuarzo feldespáticas asociadas a las metamorfitas del Sierra del convento, en particular a las anfibolitas, son predominantemente granitoides notablemente sódicos que se enmarcan dentro del campo de las tonalitas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Blanco Quinterio, I.F., 2003. Nuevos datos petroquímicos y petrográficos de las magmatitas y metamorfitas de algunos sectores del bloque oriental cubano (sectores Moa-Baracoa y Sierra del Convento). Tesis de Grado. Instituto Superior Minerometalúrgico de Moa (Cuba). Inédito. 77 pp.
- Kulachkov, L.V., Leyva, R.C., 1990. Informe sobre los resultados de los trabajos de reconocimiento geológico para cuarzo filoniano en la parte oriental de Cuba. Instituto Superior Minero-Metalúrgico, Moa (Cuba). Inédito.
- Leyva, R.C., 1996. Características geológicas, regularidades de distribución y perspectivas de utilización del cuarzo filoniano de la region oriental de Cuba. Tesis doctoral (inédita). Universidad de Moa (Cuba), 90 pp.



## **PARTIAL MELTING AND METASOMATISM IN A SUBDUCTION SYSTEM (SIERRA DEL COVENTO MÉLANGE, EASTERN CUBA) 1. PHASE RELATIONSHIPS AND THERMAL EVOLUTION**

Antonio García-Casco(1), Concepción Lázaro Calisalvo(1), Guillermo Millán(2), Kenya Nuñez Cambra(2), Antonio Rodríguez Vega(4), Manuel Iturralde-Vinent(3), Rafael L.Torres-Roldán(1)

(1) *Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, Fuentenueva s/n, 18002-Granada, Spain*

(2) *Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Carretera Central, La Habana, Cuba*

(3) *Museo Nacional de Historia Natural, Obispo no. 61, Plaza de Armas, La Habana 10100, Cuba.*

(4) *Instituto Superior Minero-Metalúrgico, Departamento de Geología, Las Coloradas de Moa, Holguín, Cuba*

The Sierra del Convento serpentinite-mélange (Eastern Cuba) constitutes a subduction system that overrides the Cretaceous arc metavolcanics of the Purial complex. The mélange contains a variety of exotic blocks metamorphosed to high pressure and low temperature as in other melanges of West-Central Cuba, but at divergence with the latter, the most typical type of block in the Sierra del Convento mélange is MORB-derived epidote±garnet amphibolite that is intimately associated with leucocratic (mostly trondhjemitic) material. The structure of the leucocratic material varies from crosscutting veins to concordant layers, and from stromatic to agmatitic bodies, in all cases within the amphibolites. The stromatic structures are characterized by mesosome (Ep±Grt amphibolite)-melanosome(amphibole±Ep±Grt)-leucosome associations. The primary (magmatic) assemblage of the leucocratic material is formed by plagioclase (oligoclase-andesine), quartz, epidote, ±pargasitic amphibole, ±rutile, ±phengitic muscovite (present in somewhat more potassic varieties). The peak metamorphic conditions (750-800 °C, 15-18 kbar) are well above the H<sub>2</sub>O-saturated solidus, and overlap the H<sub>2</sub>O-free solidus, of the basaltic system, supporting that the leucocratic material formed after partial melting of the subducted oceanic crust. The analysis of phase assemblages indicates, however, H<sub>2</sub>O-present melting and that the fluid was externally-derived, most likely after dehydration of associated subducted metasediments. Partial melting of subducted oceanic crust seems unique within the high-pressure melanges of the Caribbean realm, and has important consequences for the plate tectonic interpretation of the region during Mesozoic times because it permits characterizing these rocks as the result of hot subduction. High geothermal gradient during subduction can be conceptualized within two contrasting tectonic scenarios: a) onset of subduction, or b) subduction of an oceanic ridge. The analysis of retrograde overprints (made of combinations of omphacite, glaucophane, paragonite, lawsonite, albite, (clino)zoisite, chlorite, and pumpellyite) indicates a counterclockwise P-T path, that is interpreted as the result of continuous refrigeration of the subduction system. This favors the onset of subduction scenario. The available age data suggest an Early Cretaceous (ca. 110 Ma) age for the process. A similar history can be inferred for La Corea mélange, associated with the Mayarí ophiolitic body. The petrological analysis argues against genetic correlations between the serpentinite-melanges of Eastern and West-Central Cuba.





## PETROLOGIA, MINERALOGIA Y ALTERACION HIDROTHERMAL DE LA MANIFESTACION DE Cu PORFIRICO DEL SECTOR PALO SECO, CAMAGUEY, CUBA.

**Mercedes Torres La Rosa<sup>(1)</sup>, Kustrini Sukar Satroputro<sup>(1)</sup>, Miriela Ulloa Santana<sup>(1)</sup>, Mireya Pérez Rodríguez<sup>(1)</sup>, Deysy De la Nuez Colón<sup>(1)</sup>, María Santa Cruz Pacheco<sup>(1)</sup>, Bienvenido Palacio Alvarado<sup>(1)</sup>.**

(1) Instituto de geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, Ciudad Habana, Cuba, E-mail: [mercy@iacemi.cu](mailto:mercy@iacemi.cu)

### RESUMEN

El sector Palo Seco situado a 8 km al norte de Guaimaro, esta representado por secuencias volcánicas de la Formación Guaimaro ( $k_1$ ) y rocas intrusivas ( $k_1$ - $k_2$ ) de las formaciones "Granodiorítica" y "Sienítica".

Los contactos de ambas unidades son normales intrusivos, en algunas ocasiones están modificados tectónicamente.

Se estudiaron muestras del sector y además se tuvieron en consideración los resultados de las muestras de los pozos perforados por la Asociación Económica Internacional Geominera S.A.

Según los datos químicos, las formaciones "Granodiorítica" y "Sienítica" pertenecen a un ambiente tectónico común correspondiente a una zona de supra-subducción, y fueron generadas en las distintas etapas de desarrollo de Arco Volcánico Cretácico.

Fueron establecidos cuatro tipos de alteraciones: propilitica, biotítica, argílica y filica. Las dos primeras son las predominantes, las cuales se encuentran relacionadas a la mineralización metálica.

El estudio químico por microsonda de la biotita del pórfido diorítico demuestra que se trata de biotita reequilibrada y sus rasgos geoquímicos indican un origen vinculado a complejo orogénico calco-alcalino.

Teniendo en cuenta la escasa mineralización (pirita, magnetita, calcopirita, galena, siderita y maghemita), el tipo de alteraciones (biotización y propilitización) y los bajos contenidos de los elementos químicos para este tipo mineralización de cobre porfírico, se puede sugerir que se trata de una mineralización de Cu con Au Porfírico Alcalino y que los pozos estudiados se han perforado en la zona de los flancos es decir en la zona más externa de la mineralización del sector Palo Seco.

### ABSTRACT

The area Palo Seco placed 8 km to the north of Guaimaro is represented by volcanic sequences of Guaimaro Formation ( $k_1$ ) and intrusive rocks ( $k_1$ - $k_2$ ) of "Granodioritic" and "Sienitic" formations. The contacts of both units are normal and intrusive, in some occasions are tectonically modified.

Samples from the study area were analyzed; moreover there were considered the results of samples from drilling holes explored by the International Economic Association Geominera S.A.

According to chemical data "Granodioritic" and "Sienitic" formations correspond to a common tectonic setting dealing with a supra-subduction zone and, were generated in the different stages of the development of Cretaceous Volcanic Arc.

Four alterations type were defined: biotitic, propilitic, argillic and phyllic. The two firsts are dominating, which are related to metallic mineralization.

The chemical study by microprobe of biotite from the diorite porphyry, shows it is about re-equilibrated biotite and its geochemical features indicate an origin vinculated to an calc-alkaline orogenic complex.

Taking into consideration the scarce mineralization (pyrite, magnetite, chalcopirite, galena, siderite, maghemite), the types of alteration (biotization and propylitization) and the low contents of the chemical elements for porphyry copper mineralization type, it can be suggested that it is taking place a porphyry Cu with Au Mineralization Alcalinic and, the studied drilling holes have been placed in the most external zone of Palo Seco Mineralization.



## INTRODUCCION

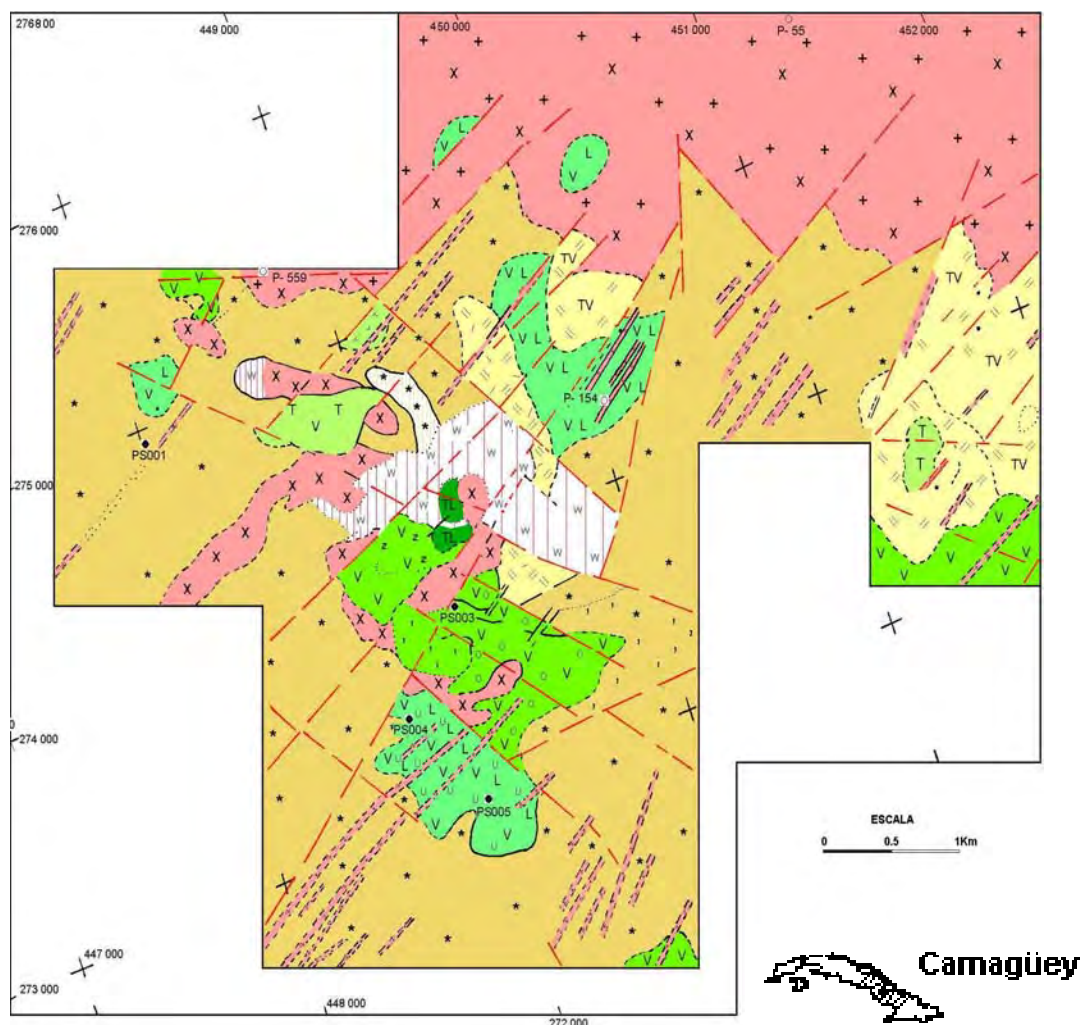
El sector Palo Seco ha sido objeto de varios estudios orientados a la definición de su estructura geológica con implicaciones en la prospección de Cu Porfírico (Shevchenko et al, 1976; Eguipko et al 1980, 1884; Durañona et al 1990; T.Marí et al 1997, Asociación Económica Internacional Geominera S.A. 1994 -1998).

El sector Palo Seco ocupa un área aproximadamente de 5 km<sup>2</sup>. En su constitución geológica (Fig. 1) forman parte las secuencias volcánicas de la Fm. Guáimaro (K<sub>1</sub>) y las rocas intrusivas (K<sub>1</sub> ?-K<sub>2</sub>) del macizo Sibanicú-Las Tunas, observándose entre ambas unidades los contactos normales intrusivos que, en algunas ocasiones, están modificados tectónicamente. Los contactos intrusivos se expresan generalmente en las cornificación y skarnificación. Es frecuente observar en este sector los bloques xenolitos de las vulcanitas encajantes, incluidas dentro de las rocas intrusivas.

Tanto las vulcanitas como los granitoides están cortados por pequeños cuerpos y diques de diorita, y granodioritas, y más raramente pórfidos dacítico y riolita-dacita. Estos pequeños cuerpos y diques forman, dentro del sector Palo Seco, una amplia red de diques extendidos en una dirección principalmente hacia nordeste (70-80°) Durañona et al 1990.

La tectónica del sector Palo Seco se caracteriza por la presencia de las fallas profundas submeridionales (NNE) que forman un sistema regional en el territorio cubano (Fateliyev et al., 1990) Según estos autores éstas fallas submeridionales juegan un papel de controladores regionales de la mineralización, en particular una mineralización de cobre molibdeno en el caso del sector Palo Seco. No obstante, tales fallas profundas submeridionales no fueron reportadas en los trabajos realizados anteriormente por Shevchenko et al., 1976.

El estudio petrográfico, análisis por microsonda y químicos permiten determinar los minerales de las asociaciones presentes, las relaciones temporales entre ellos, establecer origen, las condiciones físico-químicas y evolución de los fluidos mineralizantes. Uno de los objetivos fundamentales de este trabajo ha sido el estudio detallado de los diferentes tipos de rocas y sus alteraciones acompañantes, las cuales han sido desde hace años una valiosa herramienta para la prospección.



### Leyenda

	Capa vegetal		Granodioritas		Cuarcitas secundarias
	Traquibasalto		Dioritas		Cuarcificación
	Andesito - basáltico		Diorita porfiroidea	<b>Contactos litológicos</b>	
	Andesita		Sienitas		a- Establecidos, b- supuesto
	Traquiandesita		Sienita porfiroidea		a- Faciales, b- supuestos por datos geofísico
	Traquitas	<b>Procesos de alteración hidrotermal</b>		<b>Elementos tectónicos</b>	
	Traquiandesito-dacita		Alteración hidrotermal		Fallas tectónicas por datos geológicos a- Establecida b- supuestas
	Dacitas		Biotitización		Fallas supuestas por datos geofísicos
	Riolitas		Propilitización	<b>Otros signos</b>	
	Riolito - dacitas		Skarnificación		Pozos de perforación a- MacDonal, 1997; b- Shevchenko, 1976

Fig. 1 Mapa geológico sector Palo Seco. Tomado de Durañona et al., 1990.



## MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron laminas de 5 pozos perforados por la asociación Económica Internacional Geominera S.A y aquellas descripciones realizadas por investigadores anteriores.

La preparación de las muestras y ejecución de los análisis químicos, se realizaron en el laboratorio LACEMI y algunos en la Universidad de Campinas, Brasil.

En la determinación de los componentes mayoritarios  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{F}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , se utilizaron métodos instrumentales: espectrometría de absorción atómica y espectrofotometría UV-VIS; para algunos óxidos se emplearon métodos clásicos: gravimétrico (PPI y  $\text{SiO}_2$ ) y volumétrico ( $\text{CO}_2$ ).

Para los elementos traza se empleó el método de espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplada (ICP) del laboratorio LACEMI y la Universidad de Campinas (Brasil). En esta Universidad se hicieron determinaciones de elementos traza para 5 muestras. Los elementos determinados fueron Ba, Ce, Cr, Cs, Ga, La, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, Sc, Sn, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr.

Los análisis químicos de biotita anfíbol y piroxeno fueron realizados en el Instituto de Geociencias de la Universidad de Brasilia (Brasil), utilizando la microsonda electrónica Cameca SX-50.

### Características Petrográficas.

Las vulcanitas de la Formación Guáimaro están representadas por lavas, de composición basáltica, andesita-basáltica, andesítica y sus variedades alcalinas; subordinadamente riolitas y dacitas (Fig. 2).

Las rocas intrusivas del sector Palo Seco forman parte del macizo Sibanicú -Las Tunas, el mayor macizo (800 km<sup>2</sup>) de la región de Ciego Avila -Las Tunas. En este sector, éstas rocas están representadas fundamentalmente por los granitoides de las formaciones "Granodiorítica" y "Sienítica" (Fig. 2). A continuación se dará una pequeña caracterización petrográficas generalizada de los granitoides descritos en el área de estudio.

#### *Granitoides de la formación "Granodiorítica"*

Las granodioritas, forman la mayor parte del macizo Sibanicú-Las Tunas, ocupando la parte Norte de este sector (Fig. 1), hacia el Sur afloran fundamentalmente las dioritas y dioritas cuarcíferas, las cuales están ampliamente desarrolladas en el sector Palo Seco en contacto generalmente con las vulcanitas de la Formación Güáimaro.

Dioritas y dioritas cuarcíferas. Microscópicamente son rocas holocristalinas, masivas de color gris claro, Su textura es hipidiomórfica de grano medio (predominante), observándose menos frecuentemente las de grano fino. Es frecuente observar en estos granitoides la textura hipidiomorfa-granular. Sus principales minerales son oligoclasa-andesina (40-65%), cuarzo (15-30%), minerales máficos biotita y hornblenda (1-2%), raramente piroxeno y accesorios en un (0.5-2%), representados por cristales idiomórficos de magnetita, apatito, esfena y circón.

A partir del estudio de los concentrados artificiales fueron encontrados también pirita, calcopirita y molibdenita.



En las variedades porfíricas, las rocas se caracterizan por abundantes fenocristales que pueden constituir hasta un 60-70 % de la roca, representados por oligoclasa-andesina (frecuentemente zonados), con formas tabulares (de hasta 2 mm.). A veces forman agrupaciones glomeroporfírica y están desanortizados y sericitizados. Raramente se describieron fenocristales de cuarzo de forma semiredondeados y reabsorbidos por la matriz y relictos de minerales máficos (biotita, anfíbol y escaso piroxeno). La masa principal está compuesta por plagioclasas, las cuales frecuentemente se disponen subofíticamente con formas prismáticas cortas, por cuarzo xenomorfo, que aparece relleno de intersticios y también por algunos relictos de minerales máficos alterados. Los minerales accesorios son: magnetita, apatito, esfena y circón.

En general todas estas rocas han sufrido un fuerte proceso, de alteración predominando: biotitización, epidotización, cloritización, carbonatización, anfíbolización y zeolitización.

La fase de diques de esta formación "Granodiorítica" es representada por pórfidos granodioríticos y dioríticos, los cuales se encuentran cortando a las sienitas de la formación "Sienítica" (Fig. 1).

Las edades absolutas de los granitoides de la formación granodiorítica del macizo Sibanicú-Las Tunas fluctúan entre  $76 \pm 4$  y  $89 \pm 4$  ma.

#### *Granitoides de la formación "Sienítica"*

Los granitoides de esta formación están representados fundamentalmente por las sienitas de grano medio, las cuales se encuentran desarrolladas, en los pozos PS002, PS003 y PS004 a diferentes profundidades.

Macroscópicamente éstas rocas son masivas de color gris a gris-rosado, de grano medio. Compuestas principalmente por ortoclasa-perfítica (70-90%), plagioclasas, minerales máficos (2-10 %) y accesorios (1 %).

En su variedad cuarcífera se presenta el cuarzo hasta (5-7%), su textura es hipidiomórfica granular; ortoclasa-perfítica (50-65%) que forma grandes cristales prismáticos (hasta 0.5 mm) o granos irregulares, frecuentemente pelitizados; oligoclasa (No 17-18) en un (20-30%), algo pelitizada formando grandes listones que pueden alcanzar hasta 0.5 mm. Los minerales máficos están representados por hornblenda, de color verde oscuro, formando grandes prismas alargados (de hasta 1 mm) distribuidos irregularmente. Este mineral raramente aparece fresco y en general se encuentra fuertemente epidotizado y cloritizado o débilmente uralitizado. Los minerales accesorios están representados por esfena, apatito y magnetita. Por el estudio de los concentrados artificiales fueron encontrados también la pirita, calcopirita, molibdenita y leucoxeno.

En algunas ocasiones se observan finas vetillas cuarzo-albíticas microgranulares, atravesando los grandes listones primarios de feldespato y xenolitos cuneiforme de diabasa o basalto cornificado de grano fino dentro de las sienitas de grano grueso.

En el sector Palo Seco "Cantera Güaimaro" se observaron las sienitas cortadas por pórfidos dioríticos y granodioríticos, entre ambas rocas los contactos aparecen claramente ondulados, con manchas de óxidos de hierro, malaquita y azurita. En la zona de contacto las sienitas generalmente están epidotizadas.

Las edades absolutas de las sienitas del macizo Sibanicú-Las Tunas se encuentran en un intervalo de  $75 \pm 3$  a  $98.2 \pm 1.2$  ma.





### COLUMNAS LITOLOGICAS ESQUEMATICAS DE LOS POZOS PS001, PS002, PS003, PS004, PS005

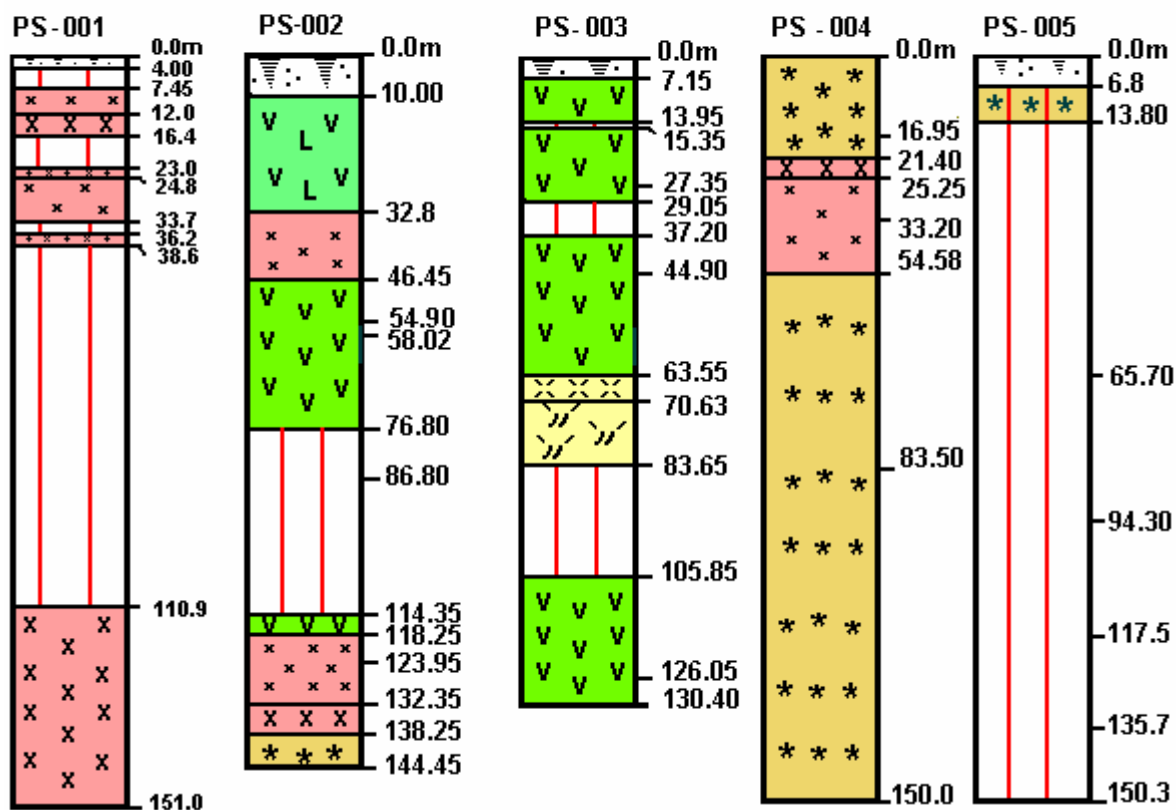


Fig. 2. Tipos de rocas descritos (granitoides y vulcanitas) en el sector Palo Seco.

### Estudio del quimismo de la biotita, anfíbol, piroxeno:

En los granitoides del Sector Palo Seco, la mayoría de sus minerales formadores de rocas presentan variaciones significativas en su composición, es decir sufren los reequilibrios químicos debidos a los procesos hidrotermales que actúan sobre estas rocas.

Se estudió el pórfido diorítico alterado del pozo PSO1 (131.70m) y fueron analizados algunos de sus minerales, tales como: biotita, anfíbol, piroxeno y apatito. Los resultados del estudio de su quimismo se describen a continuación.

#### Biotita

La composición química de las biotitas estudiadas es ploteada en el diagrama triangular (FeO+MnO) – 10 TiO<sub>2</sub> – MgO (Fig. 3) la mayoría de las biotitas se encuentran en el campo de Reequilibradas, mientras que algunas de ellas están en el límite entre los campos de Magmáticas y Reequilibradas. Esto sugiere un proceso de transformación (alteración) hidrotermal de las biotitas, entre las cuales se observan algunas alteradas a clorita.





En algunas biotitas estudiadas se encuentran inclusiones de piroxeno, con contactos rectilíneos no reactivos entre ambos minerales, lo que indica que la biotita se cristalizó muy posterior al piroxeno, y que su cristalización tuvo lugar posiblemente en condiciones de equilibrio entre el piroxeno y la biotita.

Ploteadas en el diagrama de  $Al^{IV} - Fe/(Fe+Mg)$  (Fig. 4), se observa que la mayoría de las biotitas caen en el campo de Eastonita, mientras que las otras en el campo de Flogopita.

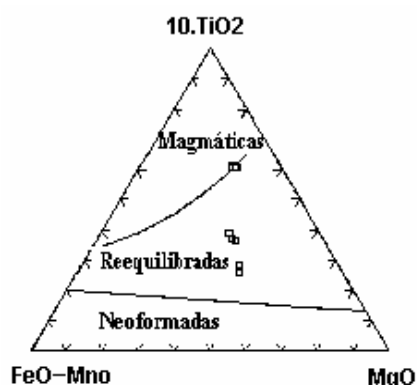


Fig. 3. Diagrama de  $(FeO+MgO-10TiO_2) MgO$  (Nachit et al., 1986) que nos sugiere la transformación hidrotermal de la biotita.

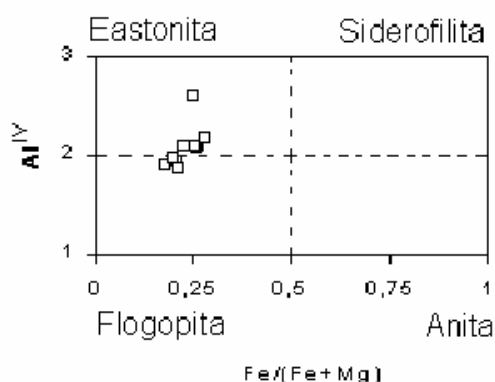


Fig. 4. Diagrama  $Al^{IV}-Fe/(Fe+Mg)$ , muestra la composición de la biotita.

Ploteadas en los diagramas de  $Al_2O_3 - FeO$  (total),  $Al_2O_3 - MgO$  y  $MgO - FeO$  (total) (Fig. 5: a, b, c) las biotitas analizadas del sector Palo Seco caen en el campo C, el cual indica a la suite orogénica calcoalcalina.

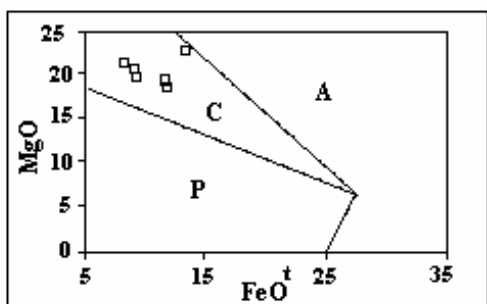
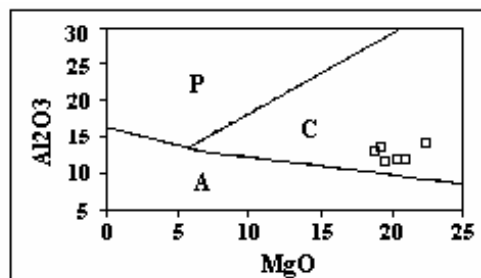
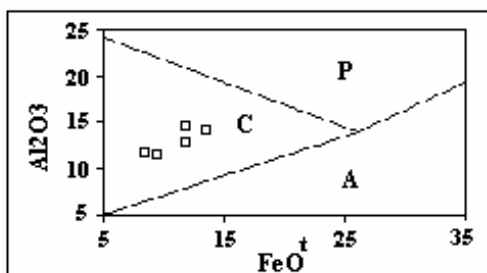


Fig. 5. Diagrama a)  $MgO-Al_2O_3$ , b)  $FeO(t)-Al_2O_3$  y c)  $MgO-FeP(t)$ , Abdel Rahman, 1994.

A- Suites Alcalinas orogénicas, B- Suites Calcoalcalinas orogénicas, P- Suites Peralumínicas.



## Anfíbol

Ploteados en el diagrama propuesto por Leake et al. (1997) sobre la clasificación de los anfíboles calcoalcalinos (Fig. 6) los anfíboles estudiados caen en el campo I, que corresponde a la Edenita.

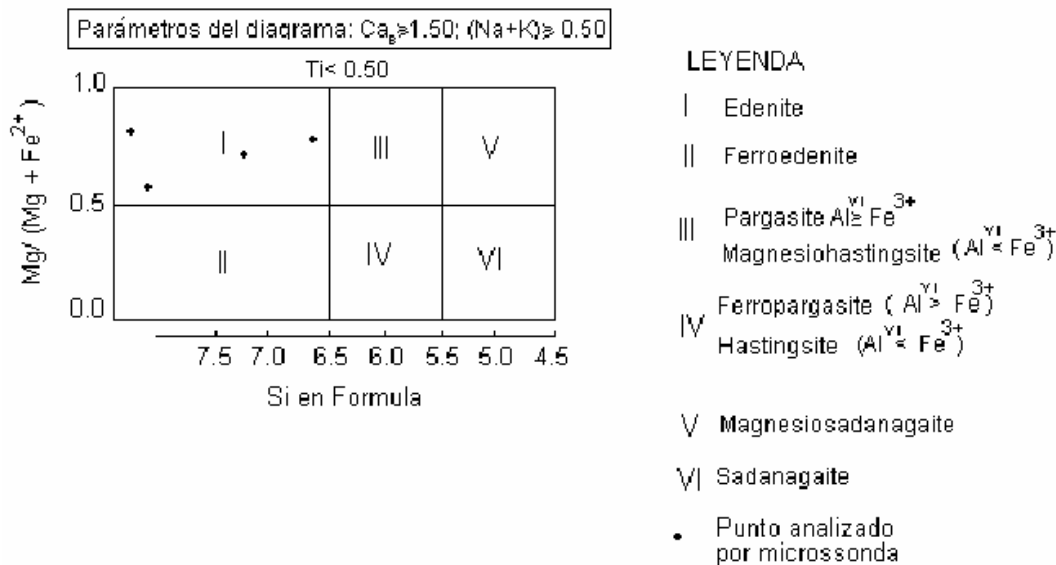
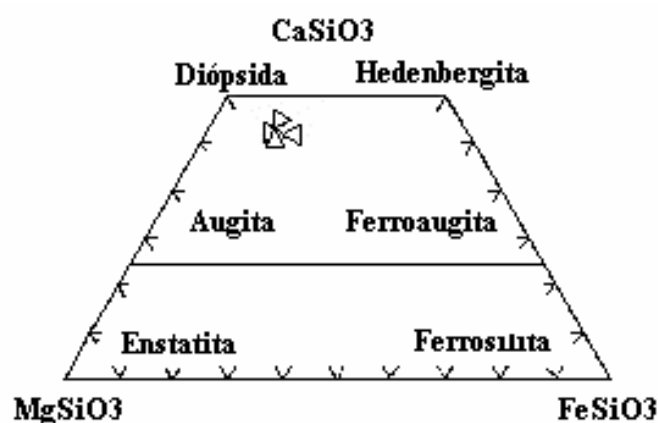


Fig. 6. Diagrama de clasificación de los anfíboles calcoalcalinos (Leake et al. 1997.)

## Piroxeno

En el pórfido diorítico del pozo PSO1 (131.70m) del Sector Palo Seco, el piroxeno frecuentemente forma cristales prismáticos y en algunas ocasiones se presenta como inclusiones dentro de las biotitas, indicando así el carácter primario de su cristalización.

La composición química de los piroxenos analizados ploteados en el diagrama de clasificación de los piroxenos, se encuentran en el campo de Diópsido (Fig. 7).





## Caraterísticas geoquímicas de los granitoides.

Para caracterizar los rasgos principales de los granitoides del Sector Palo Seco fueron utilizados diferentes gráficos, construidos sobre la base de 31 análisis de elementos mayores y 3 análisis de elementos trazas (Tablas 1 y 2).

### Granitoides de la formación granodiorítica

#### Elementos mayores

En los granitoides de esta formación el contenido del  $\text{SiO}_2$  fluctúa entre 50.29 y 67.30 % (Tabla 1).

Ploteados en los diagramas de AFM (Fig. 8), los granitoides analizados del Sector Palo Seco pertenecen a los campos calcoalcalinos, con el carácter potásico-sódico (Fig. 9), mientras que en los diagramas de  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$  estos granitoides se ubican en el campo subalcalino (Fig. 10)

#### Elementos trazas

Fueron analizadas 2 muestras de granitoides (diorita y granodiorita) de la formación "Granodiorítica" y su particularidad geoquímica expresada en la distribución (normalizada por N-MORB) de los elementos (Fig.12) indica su pertenencia a una zona de supra-subducción. Esta particularidad geoquímica consiste en un enriquecimiento de Ba, Rb, Th, Sr y La, comparando con tales elementos como Nb, Ce, Nd, Zr y Y (Fig. ).

### Granitoides de la formación "Sienítica".

#### Elementos mayores

En el sector Palo Seco los granitoides de esta formación, representados por las sienitas, se caracterizan por el contenido de  $\text{SiO}_2$  que fluctúa entre 54.25 y 68.02 % (Tabla 1).

En los diagramas de AFM,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ , éstas sienitas muestran las mismas características que las de la formación "Granodiorítica", las cuales consisten en su pertenencia a los campos calcoalcalinos (Fig. 9) y el carácter potásico-sódico (Fig. 10).

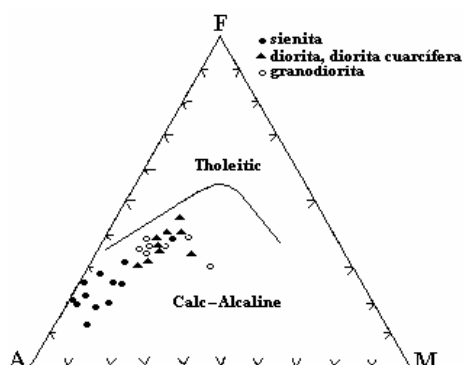


Fig. 9. Diagrama AFM (Irvine y Baragar, 1971), muestra la composición calcoalcalina de los granitoides de Palo Seco.

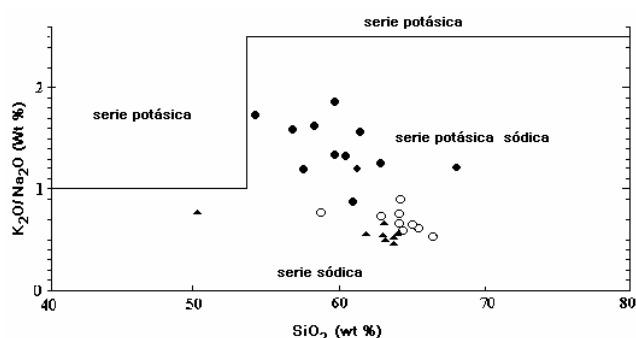


Fig. 10. Diagrama  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}\text{-SiO}_2$ , muestra el carácter potásico-sódico de los granitoides.



En general se establece que los granitoides de ambas formaciones (Granodiorítica y Sienítica) del Sector Palo Seco, por su quimismo, presentan algunas particularidades similares. No obstante, independientemente de que se observan las similitudes arriba señaladas, existen entre éstas dos formaciones (“Granodiorítica” y “Sienítica”) del Sector Palo Seco notables diferencias. Así se establece, que en el diagrama de  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ - $\text{SiO}_2$  (de Irvine y Baragar, 1971; Fig. 11 ) la formación “Sienítica” (sienitas) corresponde a la serie alcalina, mientras que la formación “Granodiorítica” (diorita, diorita cuarcífera y granodiorita) a la subalcalina.

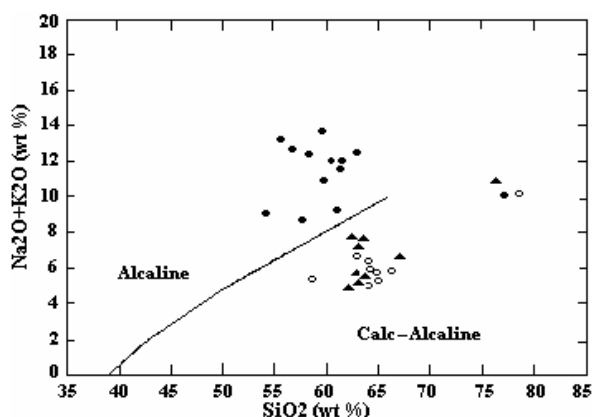


Fig. 11. Diagrama de  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ - $\text{SiO}_2$  (Irvine y Baragar, 1971), se observan las diferencias de los granitoides.

En el Sector Palo Seco, éstas similitudes reveladas en la geoquímica de las formaciones “Granodiorítica” y “Sienítica”, probablemente, están vinculadas con su ambiente común, que corresponde a una zona de supra-subducción. Y las diferencias geoquímicas establecidas entre ambas formaciones indican que éstas dos formaciones fueron generadas en las distintas etapas de desarrollo del Arco Volcánico Cretácico de Cuba centro-oriental.

### Elementos trazas

Al igual que los granitoides de la formación “Granodiorítica”, la particularidad geoquímica de una muestra (sienita) de la formación “Sienítica” también señala su pertenencia a una zona de supra-subducción. Esta particularidad geoquímica se expresa en la distribución (normalizada por N-MORB) de los elementos, en la cual se observa el enriquecimiento de Ba, Rb, Th, Sr y La comparando con tales elementos como Nb, Ce, Nd, Zr y Y (Fig. 12 ).

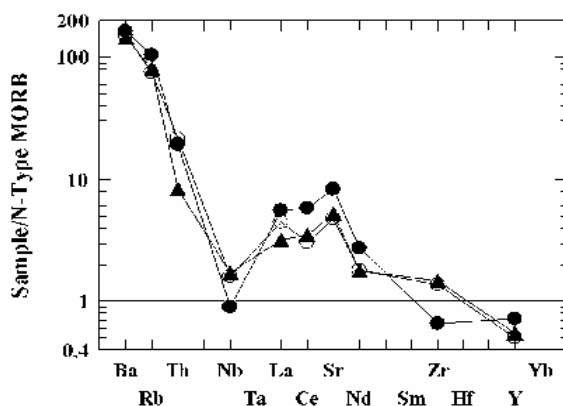


Fig. 12. Patrones normalizados por (N-MORB) de los elementos traza de los granitoides del sector.



Tabla 2. Elementos trazas de los granitoides del sector Palo Seco.

(ppm)	Al-110 Diorita cuarcífera	Al-111 Granodiorita	Al-112 Sienita
Ba	924	963	1023
Ce	26	23	44
Cr	102	67	48
Cs		< 11	
Cu	8.6	74	15.8
Ga	13.8	5.7	14.7
La	8	11	14
Nb	4	3.7	2.1
Nd	13	13	20
Ni	5.9	7.8	1.1
Pb	5.1	4.2	3.7
Rb	45	42	58
Sc	10	9	< 5
Sn	< 3	< 3	3
Sr	465	426	748
Th	< 1.5	2.6	2.3
U	2.7	< 2	4.7
V	93	98	41
Y	15.4	13.9	20
Zn	51	432	54
Zr	109	102	49

### Alteración hidrotermal de las rocas hospedadas.

Una fuerte alteración hidrotermal afecta en mayor o menor grado a todas las rocas del Sector hasta profundidades de más de 150m. Solo en algunos intervalos se describieron rocas frescas.

En este sector la mineralización es vetítico-diseminada y su intensidad aumenta con la profundidad, esto fue observado por Durañona et al 1990 y durante el muestreo realizado para este trabajo. En trincheras se cortaron vetas de cuarzo con sulfuros de Cu y vetas de barita de una longitud de 1.05 –1.90m también se detectó Cu nativo ( Durañona et al 1990).

La mineralización se observa fundamentalmente en las dioritas y sus variedades pórfiroideas (biotitizadas y cornificadas ),así como en las sienitas de grano medio-grueso (anfibolizadas y biotitizadas).

Se describen cuatro tipos principales de alteraciones: propilítica biotítica, argílica y filica.

Alteración propilítica: se desarrolla con predominio en los pozos PS002 y PS003 ubicados en la parte central. Los minerales que la caracterizan son: epidota, clorita, calcita, plagioclasa albitizada, y algunos minerales arcillosos. Esta alteración se ha formado producto de la reacción de las plagioclasas y los minerales máficos con los fluidos hidrotermales. La misma generalmente tiene lugar a altas temperaturas.



**Alteración biotítica:** se caracteriza principalmente por el alto porcentaje de biotita además se observó cuarzo, pirita, hornblenda y apatito. Las biotitas presentan color propio pardo-rojizo, se desarrollan desde finas laminas hasta grandes hojuelas constituyendo a veces el total de la lamina (Pozo PS001 Profundidad 41.45m). También se observaron en formas de finas vetillas. Frecuentemente se encuentran cloritizadas.

La hornblenda se desarrolla en forma de finas laminas de color verde con débil pleocroismo en las diferentes variedades de rocas. Producto de la alteración frecuentemente este anfíbol se observa cloritizado.

El cuarzo tiene un gran desarrollo formando agregados generalmente finos en algunos sectores cuando presentan mayor tamaño ellos se encuentran reabsorbidos observándose bordes dentados, también aparecen en forma de vetillas. A veces producto del fuerte proceso de cuarcificación que enmascara totalmente, la roca pierde la textura original. Esta alteración aparece con mayor frecuencia en las dioritas, dioritas cuarcíferas y sus variedades porfiroideas y en las sienitas.

**Alteración filítica:** se desarrolla fundamentalmente en los feldespatos (plagioclasas y ortoclasa-pertítica), en ellos se observó sericita en forma de finas escamas, en aquellas zonas donde está mas cercana la alteración potásica los feldespatos están totalmente alterados.

**Alteración argílica:** se caracteriza por mostrar altos contenidos de minerales arcillosos, cuya determinación no fue posible realizar, esta alteración aparece fundamentalmente desarrollada en los feldespatos. En general se puede decir que en el área esta alteración es muy poco desarrollada.

Estas dos últimas alteraciones son las de menor desarrollo en el área en comparación con las dos anteriores (propilitica y biotítica) y a veces ellas se superponen una con otra y es difícil de diferenciarla.

Un mayor proceso de alteración biotítica se observó en los pozos PS001 y PS005, situados al NW y al SE. En el pozo PS001 la biotitización se desarrolla desde 6,55m hasta los 87m aumentando con la profundidad y fundamentalmente en dioritas con texturas porfídicas, en el pozo PS005 se observan a partir de 65.7m hasta 150m y se encuentra asociado a las sienitas.

El proceso de propilitización se encuentra desarrollado fundamentalmente en los pozos PS002 y PS003 y en las rocas de la Formación Güaimaro (andesitas, andesitas-basalto, dacitas, andesitas-dacitas, andesita-traquita y riolita y riolita-dacita). Tanto la propilitización como la biotitización al parecer indican el evento de la mineralización más importante en este sector.

### **Particularidades mineralógicas de la mineralización metálica.**

En el sector Palo Seco fue realizada una caracterización de la mineralización metálica de los pozos (PS001 Y PS004).





En el pozo PS001 la mineralización se observa diseminada asociada fundamentalmente a la diorita y en menor proporción a las granodioritas fuertemente alteradas por procesos de biotitización (Fig. 13). En el pozo PS004 la mineralización se encuentra en vetillas asociadas a la diorita y sienita, alteradas por procesos de propilitización (Fig. 14).

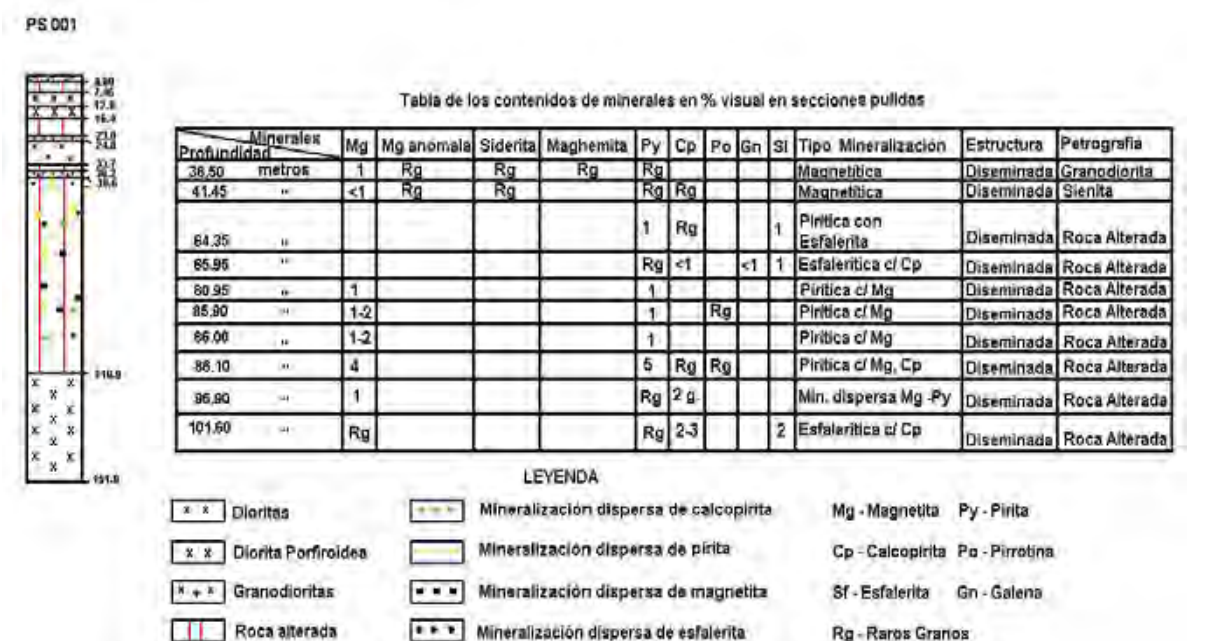


Fig. 13. Características generalizadas de la litología, alteraciones, mineralogía y contenidos visuales de sulfuros en el pozo PS001.

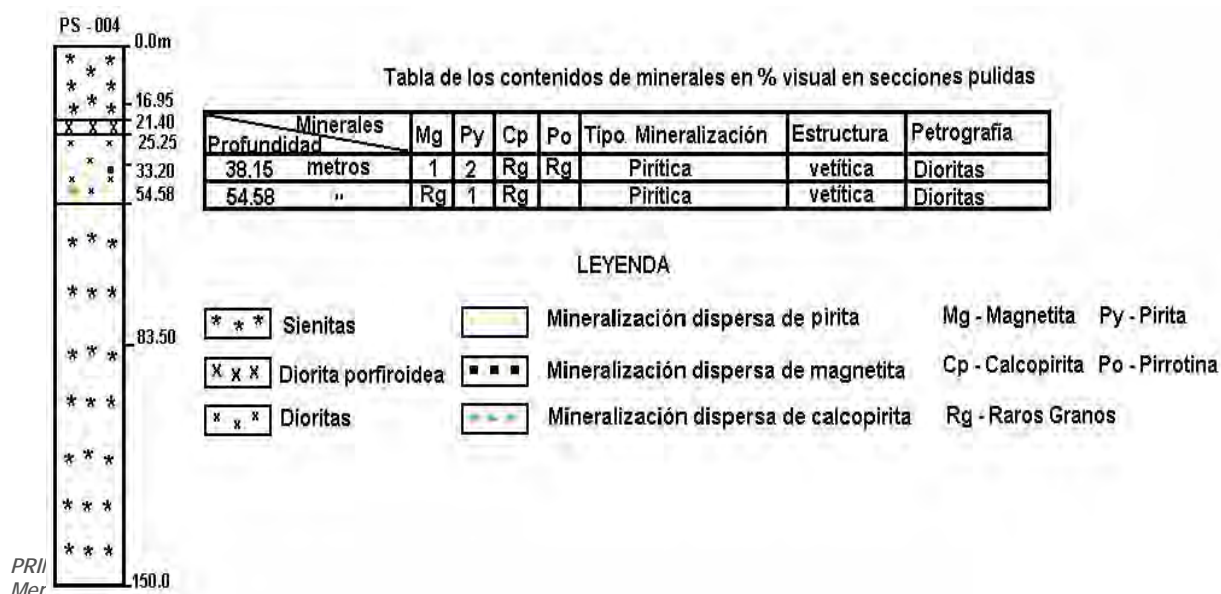


Fig. 14 Características generalizadas de la litología, alteraciones, mineralogía y contenidos visuales de sulfuros en el pozo PS004.



La mineralización metálica es pobre con contenido visual de hasta 3 % y se incrementa con la profundidad. La pirítica es el mineral más frecuente, raramente se encuentra la magnetita, calcopirita, esfalerita, siderita y maghemita. Estos minerales forman las asociaciones siguientes:

Fase Temprana: Magnetita.

Fase Intermedia: Pirita, calcopirita, pirrotita, esfalerita y galena.

Hipergénica: Siderita y maghemita

La molibdenita sólo fue observada en concentrado artificial en concentraciones muy bajas (<< 1%).

#### Pirita

Es el mineral más abundante, se encuentra cristalizada con granos irregulares de tamaños (de 0.0055 a 0.050 mm) y granos aislados de (0.1875 mm) con formas euhedrales y subhedrales; en el pozo PS004 los granos de pirita alcanzan tamaño (de 0.385 mm). Generalmente la pirita es sustituida por la calcopirita, en algunos casos por esfalerita e incluida en la magnetita en el pozo PS001 a la profundidad de 64.35 y 86.10 m.

#### Magnetita

Es la primera en formarse (Fig. 15 a), se observa en la zona mineralizada en forma de granos de tamaños (de 0.0055 a 0.148 mm) dispersos en el material de ganga formando textura alotriomórfica. Los granos mayor de tamaño forman grandes masas con oquedades rellenas por el mineral no metálico. En el pozo PS001 a las profundidades de (38.50 y 41.45 m) se observaron raros granos de magnetita anómala que por sus características ópticas es igual que la magnetita pero presenta una débil anisotropía (Ramdohr, P. 1980) y se encuentra estrechamente entrecrecida con la siderita (?)

#### Calcopirita

Este mineral aumenta su contenido con la profundidad. En el pozo PS001 se observan granos anhedrales (de 0.009 a 0.25 mm) dispersos y sustituyendo en algunos casos a la esfalerita (calcopirita disease) (Fig. 15 b) Barton & Bethke, 1989: En Gaspar C. O. 1996. En los pozos PS001 y PS004 la calcopirita en agregados mayores corroe a la esfalerita y a la pirita.

#### Esfalerita

En el pozo PS001 se observa en granos (de 0.005 mm) entrecrecidos con la pirita y la calcopirita y en granos de (0.0825 mm) dispersos en el material de ganga.

#### Pirrotina

Se observa en ambos pozos en raros granos (de 0.0125 mm aproximadamente) de forma redondeada, algunos de los granos incluidos en granos mayores de pirita (Fig. 15 c).

#### Galena

Se observa en el pozo PS001 a la profundidad de (65.95m) en raros granos anhedrales, bordeando a la esfalerita y junto al mineral no metálico.

#### Siderita ?

Se observa en el pozo PS001 a la profundidad de (38.50 y 41.45m), en raros granos anhedrales fuertemente anisotrópicos entrecrecidos con la magnetita anómala, posiblemente originados en el proceso de sustitución de la magnetita (Klockman, F. & Ramdohr, P. 1961)



### Maghemita

Fue observada en el pozo PS001 a la profundidad de (38.50m), en escasos granos de color azulado de tamaño (0.0030 mm aproximadamente), formados producto de la oxidación de la magnetita (Ramdohr, P. 1980)

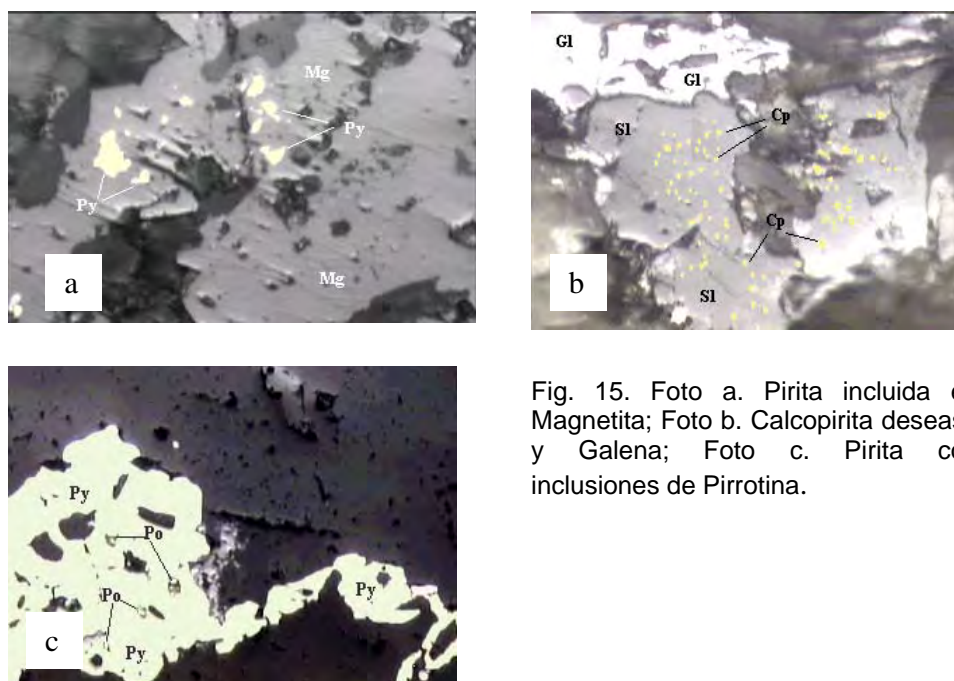


Fig. 15. Foto a. Pirita incluida en Magnetita; Foto b. Calcopirita desease y Galena; Foto c. Pirita con inclusiones de Pirrotina.

Utilizando los datos de los análisis químicos para elementos mayoritarios, realizados por la Compañía Mc. Donald y los contenidos del clark para las rocas medias, se realizaron gráficos de profundidad / contenido. En estos gráficos se evidencia que los contenidos de los elementos coinciden con los valores del clark o están muy cercanos a él.

Para el pozo PS001 a la profundidad de 94.11 hasta 107.87m se observa una concentración de los elementos como Ag, Cu, Mo y Hg; en el caso del Pb su concentración ocurre a la profundidad de 65.10 – 68.05m.

En el pozo PS004 a la profundidad de 80 a 85m, se observa la concentración del Au, Cu y Mo y a los 20 hasta 30m de profundidad, la concentración de los elementos de Ag, As, Bi, Hg y Mo.

Teniendo en cuenta la escasa mineralización presente en los pozos, el tipo de alteraciones (biotitización y propilitización) y los bajos contenidos de los elementos, característicos para este tipo de mineralización, se puede sugerir que se trata de una mineralización de Cu con Au



porfírico alcalino (Panteleyev, 1995) y que se ha perforado en la zona de los flancos, es decir en la parte más externa de la mineralización del sector Palo Seco.

## CONCLUSIONES

El estudio petroológico, mineralógico y de las alteraciones permitió adicionar varios aspectos que contribuyeron a la evaluación de la manifestación de Cu Porfírico del sector.

Los granitoides son las rocas mas desarrolladas en este sector y están representadas por: dioritas, dioritas cuarcíferas y sus variedades porfídicas de grano medio-grueso: pórfidos granodioríticos (fase de diques) los cuales se corresponden con la serie subalcalina y sienitas de grano medio que se corresponden con la serie alcalina.

Las vulcanitas se encuentran representadas por las secuencias de la Formación Guáimaro. Las rocas descritas fueron: basaltos, andesita-basaltos, andesitas, y sus variedades alcalinas de manera subordinada dacitas y riolitas. La alteración que predomina en ellas es la propilítica.

Se observaron diques de pórfidos granodioríticos y dioríticos de diferentes espesores, los cuales cortan tanto las rocas volcánicas como los granitoides.

Las similitudes geoquímicas reveladas en las dos formaciones "Granodiorítica" y " Sienítica" del Sector Palo Seco, probablemente, están vinculadas con un ambiente tectónico común para ambas formaciones, el cual corresponde con una zona de supra-subducción. Y las diferencias geoquímicas indican que estas dos formaciones fueron generadas en las distintas etapas de desarrollo del Arco Volcánico Cretácico de Cuba centro-oriental. Es de suponer que la formación "Sienítica" constituye la formación más antigua y fue generada en la etapa temprana de desarrollo del Arco Volcánico Cretácico, ya que las sienitas de ésta formación se encuentra cortada por las rocas de la fase de diques de la formación "Granodiorítica".

Todas las rocas del Sector Palo Seco presentan una fuerte alteración hidrotermal y esta alteración se ha observado hasta la profundidad de 150m. La misma a veces ocupa toda la roca lo que hace que pierda su textura, haciendo muy difícil diagnosticar la roca original.

En el área de estudio se determinaron 4 tipos de alteraciones: propilítica, biotítica, argílica y filítica, predominando las dos primeras.

A las alteraciones propilítica y biotítica se encuentran relacionadas la mineralización metálica (pozos PS001, PS002, PS003, PS004, PS005), la cual aparece distribuida irregularmente y en forma de finas vetillas, aumentando con la profundidad.

El estudio químico de la biotita por microsonda demuestra que la mayoría de los puntos analizados responden a la biotita reequilibrada (proceso de transformación hidrotermal).

Las relaciones de  $\text{FeO}$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{MgO}$  vs  $\text{FeO}$  (t) indica que las biotitas de la muestra estudiada del sector Palo Seco tienen un origen asociado a complejos orogénicos calco-alcalino.



Teniendo en cuenta la escasa mineralización (pirita, magnetita, calcopirita, galena, siderita y maghemita), el tipo de alteraciones (biotitización y propilitización) y los bajos contenidos de los elementos, característicos para este tipo de mineralización de cobre porfírico, se puede sugerir que se trata de una mineralización de Cu con Au porfírico alcalino y que se ha perforado en la zona de los flancos, es decir en la parte más externa de la mineralización del sector Palo Seco.

## BIBLIOGRAFIA

- Asociación, Econ. Intern. 1994-1998. Qualify Report on the Florencia-Jobabo Concession and The Florencia Sector Camaguey and Las Tunas Provinces, Republic of Cuba. ONRM.
- Abdel. Rahman, A. M. 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and prealuminous magmas. J. Petrol. 35, 525:541.
- Barton & Bethke. 1989. Microscopia e petrologia de minerios. En Gaspar, C.O. 1996
- Durañona, D. et al. 1990. Prospección preliminar de polimetálicos en los sectores Guáimaro y Palo Seco, escala 1:10 000. Tomo I y II. Inv.77.
- Eguipko, O. y Pérez, M., 1980. Petrología de rocas intrusivas de composición ácida y media y su asociación con la mineralización. Oficina Nacional de Recursos Minerales, MINBAS (Inédito).
- Eguipko, O.; Sukar, K.; Pavlov, V.; Pérez, M.; Gurbanov, A.; Soto, T.; 1984. Principales particularidades petroquímicas de los granitoides del eugeosinclinal cubano y sus formaciones. Rev. Ciencias de la Tierra y Espacios, (9): 59-73.
- Fataliev, R; Rodríguez, A.; Albelo, J. Durañona, B. 1990. Experiencias sobre la selección de áreas perspectivas, mediante el uso racional de los métodos de búsqueda compleja en el sector Palo Seco, Camagüey. Rev. Tecnológica. MINBAS, C. Habana. 20, (1); 14-22 pp.
- Gaspar, O.C. 1996. Microscopia E Petrologia De Minérios Aplicadas á Gênese, Exploração E Mineralurgia dos Sulfuretos Maciços dos Jazigos de Aljustrel E Neves-Corvo. Separata do Tomo 38, de "Estudos, Notas e Trabalhos, do Instituto Geológico e Mineiro".
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, V 8, 523:548.
- Kloekman, F.; Randohr, P. 1961. Tratado de mineralogía. 2da edición. Barcelona.
- Leake, B. E., et al. 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. Mineralogical Magazine. 61, 295:321.
- Marí, T. M. 1997. Particularidades de los granitoides de Ciego-Camagüey-Las Tunas y consideraciones sobre su posición dentro del arco de islas. En: Furrázola-Bermúdez, G.F. y Nuñez-Cambra, K.E. 1997. Estudios sobre Geología de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad de la Habana: 387:399.
- Nachit, H. 1986. *Contribución á l' etude analytique et expérimentale des biotites des granitoides. Applications typologiques.* Université de Bretagne Occidentale, Brest, Tese de doctorado.
- Panteleyev, A. 1995. Epithermal Au-Ag-Cu: Hig sulphidation. En The Identification of Common Rocks. British Columbia Mineral Deposit Profiles An Introducing. <http://www.ei.gov.bc.ca/geosmin/metalmin/mdp/PROFILES/L03.htm>
- Randohr, P. 1980. The Ore Minerals. Akademh-Verlag Berlin, V1y 2.
- Shevchenko, I.A., Bello, D.V., Dohnia, A., Santa Cruz, G.J., Lugo, P.R., Eguipko, O., Frolov, V., Burov, V. 1976. Informe del levantamiento geológico a escala 1: 100000 en la región de Martí- Victoria de Las Tunas. ONRM, Habana.





Tabla 1. Elementos mayores de los granitoides del sector Palo Seco

No. Muestra	Roca	No. Mg	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	LOI
36219b	Diorita	44.06	67.30	0.49	16.31	4.46	0.24	1.97	4.58	3.80	2.83	0.00	0.00	0.00	0.00
Espe-8	Granodiorita	39.52	66.48	0.21	16.20	3.82	0.14	1.40	4.60	3.80	2.00	0.22	0.00	0.00	0.29
D-265	Pórfido granodiorita	38.51	65.30	0.16	17.06	3.93	0.08	1.38	4.54	3.27	2.10	0.12	0.31	0.00	1.38
C10-R-001c	Granodiorita	35.38	65.00	0.34	16.92	4.23	0.12	1.30	5.03	3.40	2.24	0.12	0.93	0.00	0.00
Espe-4	Granodiorita	41.56	64.40	0.41	16.39	4.36	0.13	1.74	5.20	3.62	2.13	0.18	0.00	0.00	0.48
PS002(132.35)	Pórfido granodiorita	42.56	64.26	0.34	14.55	3.97	0.17	1.65	4.82	3.21	2.89	0.11	0.25	2.19	3.26
Espe-7	Granodiorita	44.46	64.14	0.28	15.78	4.61	0.10	2.07	4.48	3.62	2.70	0.16	0.00	0.00	1.39
3900a	Granodiorita	49.06	64.12	0.00	16.42	4.89	0.09	2.64	5.17	2.92	1.96	0.15	0.00	0.00	0.73
36100c	Pórfido diorítico	41.31	63.98	0.40	15.47	5.11	0.18	2.02	5.76	3.58	2.00	0.16	0.00	0.00	0.80
MM16	Diorita	36.72	63.76	0.35	16.52	4.39	0.18	1.43	4.88	3.55	1.82	0.15	0.51	0.93	2.04
K-48/2a	Diorita cuarcífera	46.23	63.70	0.46	16.45	5.39	0.22	2.60	6.06	3.75	1.69	0.00	0.00	0.00	0.70
D-278	Pórfido cuarzo diorita	38.33	63.68	0.19	17.82	4.33	0.11	1.51	4.72	3.70	1.90	0.50	0.42	0.00	1.50
Espe-5	Diorita cuarcífera	43.02	63.20	0.35	16.16	4.11	0.15	1.74	4.48	5.00	2.50	0.20	0.00	0.00	1.93
Espe-6	Diorita cuarcífera	44.11	63.16	0.35	15.79	4.11	0.16	1.82	3.68	4.28	2.80	0.19	0.00	0.00	2.95
D-279	Diorita cuarcífera	44.55	63.02	0.24	17.73	4.68	0.15	2.11	4.89	3.33	1.83	0.14	0.00	0.00	1.29
4796-1	Sienita	43.59	62.88	0.31	18.43	3.04	0.09	1.32	2.05	5.55	7.05	0.04	0.00	0.00	0.31
MM 29/1	Pórfido granodiorita	38.30	62.86	0.90	15.83	5.11	0.13	1.78	4.95	3.85	2.79	0.16	0.14	0.70	0.98
C10-1-009A	Monzonita cuarcífera	29.58	62.55	0.51	14.35	5.35	0.05	1.26	3.80	3.42	4.15	0.19	0.00	0.00	0.00
D-268	Diorita cuarcífera	40.48	61.86	0.34	17.86	5.77	0.10	2.20	5.50	3.08	1.72	0.16	0.00	0.00	0.96
PSO4(83.50)	Sienita	23.24	61.43	0.37	17.34	2.83	0.06	0.48	1.34	4.67	7.31	0.11	0.04	0.84	1.16
K-48	Sienita	55.34	61.20	0.43	18.90	1.87	0.16	1.30	3.50	5.31	6.39	0.28	1.26	0.00	0.00
PSO03(44.90)	Pórfido diorítico	38.35	60.98	0.35	16.11	3.58	0.08	1.25	4.82	4.93	4.29	0.19	0.02	1.10	2.66
4796	Sienita	50.96	60.48	0.33	19.19	3.31	0.10	1.93	2.82	5.15	6.88	0.19	0.00	0.00	0.74
PSO03(5.60)	Sienita	4.41	59.78	0.34	18.75	3.47	0.02	0.09	0.74	5.84	7.87	0.12	0.16	0.45	2.12
3900d	Sienita	44.44	59.74	0.00	18.81	4.23	0.07	1.90	3.16	3.80	7.08	0.43	0.00	0.00	0.72
K-48/2	Granodiorita	42.62	58.60	0.33	22.75	4.03	0.15	1.68	5.55	3.03	2.35	0.10	0.00	0.00	0.00
PSO02(144.65)	Sienita	23.01	58.30	0.44	16.86	3.52	0.04	0.59	3.88	4.74	7.70	0.19	0.07	0.45	2.88
C10-R-001j	Sienita	33.35	57.65	0.70	19.11	4.59	0.12	1.29	5.31	3.94	4.76	0.45	0.00	0.00	0.00
MM 29	Sienita	22.49	56.73	0.49	17.69	5.22	0.35	0.85	1.82	4.89	7.77	0.34	0.19	0.80	2.88
P-559-1	Sienita	44.54	54.25	1.18	18.88	6.46	0.33	2.91	3.99	3.34	5.78	0.00	0.00	0.00	1.54
PSO01(148.30)	Sienita	45.48	50.29	0.55	17.51	6.96	0.21	3.26	6.72	4.50	3.40	0.26	0.07	2.26	2.96





## PATRON DE CLASIFICACION DE LAS ROCAS INTRUSIVAS DE LA REGION ORIENTAL DE CUBA

**Ing. Ramona Rodríguez Crombet<sup>1</sup>, Ing. Martha Lidia Gutiérrez Herrero<sup>1</sup>**

<sup>(1)</sup> Empresa Geominera de Oriente, Carretera de Siboney Km 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Alturas de San Juan. Santiago de Cuba. Teléfono: (53-22) 641603, 643836. Fax: (53-22) 87130 e-mail [mgutierrez@geominera.co.cu](mailto:mgutierrez@geominera.co.cu)

### RESUMEN

La presente propuesta de Clasificación de las Rocas Ígneas Plutónicas Granitoideas de Cuba Oriental tiene como objetivo contribuir al sistema de clasificación de rocas para Cuba que está desarrollando el IGP con vistas a la estandarización de la nomenclatura de las rocas cubanas para ser utilizada en el SISTEMA DE BASE DE DATOS Y DIGITALIZACION DE LA INFORMACION GEOLOGICA (GEODATO) que esta desarrollando el IGP para unificar el lenguaje en mapas y trabajos futuros, en las diferentes ramas de la Ciencia.

Actualmente se están realizando grandes esfuerzos para estandarizar la nomenclatura de las rocas cubanas, instituciones como el IGP, CEINPET, CIPIIM, EGMO y otras se encuentran enfrascados en esta tarea, siempre acorde con la terminología utilizada por la comunidad científica internacional para de esta forma poder hablar en un mismo lenguaje.

Para ejecutar este trabajo se tuvo en cuenta la propuesta para la clasificación de las rocas cubanas liderada por el IGP, clasificación del IGUS (Unión Internacional de Ciencias Geológicas para la Sistemática de las Rocas Ígneas).

Se revisaron todos los trabajos de Levantamiento, Prospección, y Exploración realizados en el área, Temas de Investigación ejecutados, Base de datos consultadas, descripciones de secciones delgadas, siempre teniendo en cuenta la descripción petrográfica de las mismas y aspectos fundamentales como composición mineralógica y texturas.

Los ambientes tectónicos analizados fueron los de arco volcánico y ofiolitas, como edades el cretácico y paleógeno y las regiones, Sierra Maestra, Holguín, Puriales de Caujeri y Nipe Cristal.

Se llegaron a crear 10 patrones litológicos generales observándose sus diferencias mineralógicas, texturales y estructurales por ambientes tectónicos, edades y regiones.

### ABSTRACT

The proposed present of Classification of the Igneous Rocks Plutónicas Granitoideas of Oriental Cuba has as objective to contribute to the system of classification of rocks for Cuba that the IGP is developing with a view to the standardization of the nomenclature of the Cuban rocks to be used in the SYSTEM OF BASE OF DATA AND DIGITALIZACION OF THE GEOLOGIC INFORMATION (GEODATO) that this developing the IGP to unify the language in maps and future works, in the different branches of the Science.

At the moment they are being carried out big efforts to standardize the nomenclature of the Cuban rocks, institutions like the IGP, CEINPET, CIPIIM, EGMO and other they are buried in this task, always chord with the terminology used by the international scientific community for this way to be able to speak in oneself language.

To execute this work one kept in mind the proposal for the classification of the rocks Cuban liderada for the IGP, classification of the IGUS (International Union of Geologic Sciences for the Systematic of the Igneous Rocks).

All the works of Rising, Prospecting, and Exploration were revised carried out in the area, executed Topics of Investigation, consulted database, descriptions of thin sections, always keeping in mind the description petrográfica of the same ones and fundamental aspects as composition mineralógica and textures.

The analyzed tectonic atmospheres were those of volcanic arch and ofiolitas, as ages the cretácico and paleógeno and the regions, Sierra Maestra, Holguín, Puriales of Caujeri and Nipe Cristal.



You ended up creating 10 patron general litológicos being observed their differences mineralógicas, textural and structural for tectonic atmospheres, ages and regions.

## INTRODUCCIÓN

La multiplicidad de las diferentes clasificaciones mineralógicas patrones litológicos tal como las emplean los diferentes autores de los diversos países del mundo a dado lugar a numerosos intentos internacionales para establecer una sola clasificación de aceptación mundial. Con tal motivo se creó la "International Unión of Geological Sciences Comisión of Petrology IUGS, encabezada por a.L.Streckeisen, 1967, 1973.

Es necesario comentar que aunque se haya hecho énfasis internacionalmente en la estandarización de las rocas, cada una de ellas va a presentar sus características mineralógicas y texturales propias y que depende del ambiente tectónico, y región analizada, de ahí la necesidad de la creación de una clasificación de las rocas cubanas para sintetizar las clasificaciones internacionales y a la vez hablar en un lenguaje común.

De esta problemática parte la creación de patron litológico de las rocas intrusivas granitoideas de Cuba oriental como contribución a los patrones de las rocas cubanas, además se refleja en el trabajo como se confeccionaron los patrones, que en la actualidad para este tipo de rocas no existe ninguna metodología.

Se parte de patrones internacionales ya estandarizados del IGUS para crear los patrones litológicos de los diferentes tipos de rocas.

Como objetivo fundamental de este trabajo esta la confección de patrones litológicos de las rocas intrusivas granitoideas de Cuba Oriental por ambientes tectónicos, edades y regiones como contribución a:

- EL Sistema de Clasificación de las rocas cubanas
- Utilización en el Sistema de Bases de Datos y Digitalización de la Información Original GEODATO.
- Unificación del lenguaje nacional e internacional para mapas y trabajos futuros en las diferentes ramas de la Ciencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los granitoides de la región Oriental de Cuba se designan por las clasificaciones mineralógicas, tanto cualitativas como cuantitativas, se basan en una o más variables a saber:

- Porcentaje y tipos de feldespatos
- Presencia o ausencia de cuarzo
- Porcentaje y tipos de minerales oscuros
- Textura.



Los Parámetros modales (composición mineralógica real) asignados son los utilizados en la clasificación del IGUS.

**Q** Minerales de sílice

**A** Feldespatos alcalinos

**P** Plagioclasas

Para la confección de los patrones litológicos se siguieron los siguientes pasos:

- Localización, recopilación, reclasificación y organización de la información petrográfica
- Informes ejecutados de Levantamiento, prospección y exploración de distintas materias primas donde se encuentran las rocas encajantes objeto de estudio.
- Revisión de secciones delgadas al microscopio y descritas textualmente.
- Revisión de bases de datos donde existen datos de petrografía, y mediante consultas para saber en algunos casos los criterios petrográficos.
- Planes Temáticos, Candidaturas, Monografías, Libros, etc.
- Selección de un patrón de la composición mineralógica modal (AQP) por regiones, Característico de los granitoides en Cuba Oriental. (Ambiente ofiolítico (Moa Baracoa) y del arco paleógeno (Sierra Maestra) y cretácico Sierra del Purial y Holguín.
- Ubicación del patrón adaptado de las rocas plutónicas granitoideas de toda la provincia Oriental en la clasificación del IUGS. (Ver Graf4 ).
- Selección de un patrón de la mineralogía y texturas mediante tablas, característico de los granitoides en Cuba Oriental.

## DESARROLLO

A continuación pasaremos a explicar los patrones litológicos:

### GRANITO FELDESPÁTICO ALCALINO (2)

Esta compuesto por feldespato potásico ortosa y cuarzo en la misma proporción puede contener Plagioclasas An<sub>6</sub> An<sub>12</sub> albita oligoclasa en menos de un 10% como máfico biotita 1 a 2% y accesorio apatito, ortita, circón Y magnetita, como texturas Aplítica y Micropegmatítica, estructuras Masivas y colores crema claro con tonos rosados por la presencia del feldespato potásico, como alteraciones secundarias tenemos la pelitización de los feldespatos y plagioclasas y la cloritización de la biotita. Solamente se presentan en las rocas de arco volcánico.

### GRANITOS (3A Y 3B)

Están compuestos por feldespato potásico ortosa y cuarzo prácticamente en la misma proporción, pero las plagioclasas pasan de un 10% y pueden llegar a un 55%, de composición An<sub>12</sub> An<sub>16</sub> oligoclasa y máfico biotita 1 a 2% y los mismos accesorios y minerales



secundarios que los alcalinos, el color que predomina es el crema, la textura es Alotriomórfico Granular.

### **PLAGIOGRANITOS ARCO Y OFIOLITICAS (5\*)**

Están compuestas en mayor cantidad por plagioclasas de An<sub>20</sub> a An<sub>30</sub> oligoclasa y cuarzo ambas prácticamente en la misma proporción el feldespato potásico a diferencia de los granitos va a ocupar un papel secundario, puede estar presente entre un 0 y 10%, el máfico es biotita y anfíbol horblenda de un 5 a 10% los de naturaleza ofiolítica no presentan feldespato potásico, el máfico predominante es el anfíbol horblenda y se observa orientado además presenta menos cuarzo.

Los colores que predominan son el blanco y gris claro, la textura predominante es la Hipidiomórfica Granular en las de arco y Alotriomórfico Granular en las Ofiolíticas.

Como accesorios tenemos circón, apatito, rutilo, esfena, magnetita, ortita, las plagioclasas se alteran fuertemente pudiéndose encontrar epidotizadas, pelitizadas, sericitizadas, cloritizadas, cuarcificadas, los máficos cloritizados, actinolitizados, epidotizados.

Son similares a la Tonalitas pero según IGUS presentan <10% de máficos.

### **GRANODIORITAS (4)**

Están compuestas por cuarzo entre 25 y 45%, plagioclasas de composición An<sub>24</sub> An<sub>38</sub> oligoclasa andesina entre 55 y 75%, feldespato potásico ortosa entre un 10 y 30%, el máfico es Biotita y Anfíbol Horblenda entre un 5 a 10%.

Los colores que predominan son los grises con tonos cremas y la textura Hipidiomórfico Granular, como accesorios circón, apatito, ortita, magnetita, se puede observar la pelitización, sericización y prehnitización de las plagioclasas y cloritización de los máficos.

### **TONALITAS DE ARCO Y OFIOLITICAS (5)**

Roca compuesta principalmente por plagioclasas de composición An<sub>24</sub> An<sub>38</sub> oligoclasa andesina y cuarzo entre 20 y 45% feldespato potásico ortosa de un 0 a 10%, los máficos son Biotita y anfíbol horblenda de un 10 a 15%. Los colores son grises claros, las texturas la Hipidiomórfico Granular, son similares a las Granodioritas pero tienen menos feldespato potásico pero más máficos. Los de naturaleza ofiolítica no presentan feldespato potásico, el máfico predominante es el anfíbol horblenda y se observa orientado además presenta menos cuarzo.

Las plagioclasa y máficos están cloritizadas, carbonatizadas, epidotizadas, los accesorios son circón, ortita, apatito, magnetita.

### **DIORITAS CUARCIFERAS ARCO Y OFIOLITICAS (10\*)**

Roca compuesta principalmente por plagioclasas de composición An<sub>25</sub> An<sub>32</sub> oligoclasa andesina, cuarzo entre un 5 y 20%, el feldespato potásico ortosa se presenta entre un 0 y 10%, los máficos son Anfíbol Horblenda y Biotita de un 15 a 20%, pueden haber piroxenos. El color predominante es el gris, las texturas la Hipidiomórfico Granular, son similares a las tonalitas pero presentan más plagioclasas y máficos, así como menos cuarzo. Los de naturaleza ofiolítica no presentan feldespato potásico, el máfico predominante es el anfíbol horblenda y



piroxenos se observa orientado además presenta menos cuarzo, la textura que predomina es la Alotriomórfico granular

Estas rocas se encuentran intensamente afectadas por procesos secundarios, las plagioclasas se observan epidotizadas, cloritizadas, albitizadas, sericitizadas, prehnitizadas, zeolitizadas, saussuritizadas, cuarcificadas los anfíboles cloritizados, epidotizados, biotitizados, carbonatizados, la biotita se observa cloritizada y epidotizada. Como accesorio tenemos circón, apatito, magnetita, esfena, rutilo, ortita.

### **DIORITAS (10)**

Roca compuesta principalmente por plagioclasas de composición An<sub>28</sub> An<sub>48</sub> oligoclasa andesina y máficos Anfíbol Hornblenda y piroxenos de un 20 a 30%, en menor proporción cuarzo de 0 a 5 % y feldespato potásico entre un 0 a 10%. El color predominante es Gris, las texturas la Hipidiomórfico Granular, se diferencian de las Dioritas cuarcíferas por tener mas plagioclasas y máficos y menos cuarzo.

Estas rocas se encuentran intensamente afectadas por procesos secundarios, las plagioclasas se observan epidotizadas, cloritizadas, albitizadas, sericitizadas, prehnitizadas, zeolitizadas, saussuritizadas, cuarcificadas, carbonatizadas, los anfíboles cloritizados, epidotizados, biotitizados, carbonatizados, los máficos se observan cloritizados epidotizados, actinolitizados Como accesorio tenemos magnetita, magnetita con titanio, circón y apatito.

### **MONZONITA CUARCIFERA (8\*)**

Rocas compuestas principalmente por plagioclasas de composición An<sub>20</sub> An<sub>30</sub> oligoclasa y Feldespato potásico Ortosa prácticamente en la misma proporción, cuarzo de un 5 a 20% y máfico Biotita de un 10 a 20%. Presentan colores gris claro con tonalidades rosadas y lilas por el intemperismo, la textura es Monzonítica.

Son muy pobres en la región Oriental de Cuba.

### **GABROS (10)**

Los gabros son rocas plutónicas, máficas pero las de arco volcánico se describen conjuntamente con los granitoides el triángulo A Q P del IGUS ( Ver Graf4) si desglosamos los máficos Ol, olivino, Px, piroxenos y Hbl Hornblenda, utilizamos los triángulos del Graf5, clasificandose en gabros y gabo noritas.

Los gabros de arco están compuestos principalmente por plagioclasas de composición An<sub>70</sub> labrador, aunque pueden llegar a ser andesíticas por las alteraciones y cuarzo de 0 a 5%, como máficos principales están los piroxenos Augita y Hiperstena de un 35 a 50%, puede aparecer olivino en poca cantidad, el feldespato potásico no se observa. El color predominante es el gris oscuro, las texturas Gabroideas, ofíticas, suboofíticas, hipidiomórfico granulares, taxíticas, poiquiliticas. Las plagioclasas se presentan albitizadas, epidotizadas, saussuritizadas, cloritizadas y los piroxenos anfíbolitizados, cloritizados, talquitizados, epidotizado.

Se diferencian de las dioritas por presentar plagioclasas con An >50 y presentar un contenido más alto de minerales máficos de un 35 a un 50%.

Como accesorios se observan magnetita, magnetita con titanio, leucoxeno, apatito.

## GABROS DIORITAS (10)

Son rocas que presentan características intermedias entre Gabros y Dioritas, presentan texturas porfiroideas, hipidiomórfico granulares, alotriomórficas, en ocasiones poiquiliticas, con xenolitos de gabro de grano fino, presentan plagioclasas de composición An<sub>33</sub>-An<sub>54</sub> andesina labrador, en ocasiones pueden llegar a oligoclasa por la desanortización, =45-60%, albitizadas, sericitizadas, saussuritizadas, clinopiroxenos anfibolitizados, cloritizados, epidotizados =25-45%, y esfena como subproducto de la sustitución de los minerales metálicos, cuarzo intersticial = 6%, metálico magnetita=4- 8%. La biotita se observa sustituyendo el anfíbol hornblenda=1%, apatito y circón<1%

## CONCLUSIONES

- Se llegaron a crear 10 patrones litológicos generales observándose sus diferencias mineralógicas, texturales y estructurales por ambientes tectónicos, edades y regiones
- Se logran patrones litológicos de las rocas intrusivas granitoideas de Cuba Oriental como vías de estandarización para ser utilizadas por bases de datos Ej: GEODATO y para unificar el lenguaje en mapas y trabajos futuros, en las diferentes ramas de la Ciencia, siempre acorde con la terminología utilizada por la comunidad científica internacional para de esta forma poder hablar en un mismo lenguaje.
- Desde el punto de vista económico esta estandarización conlleva a un mejor entendimiento científico tanto nacional como internacional y por ende a un ahorro de tiempo(plazos) y ganancia en (calidad) que se revierte en menos (costo).

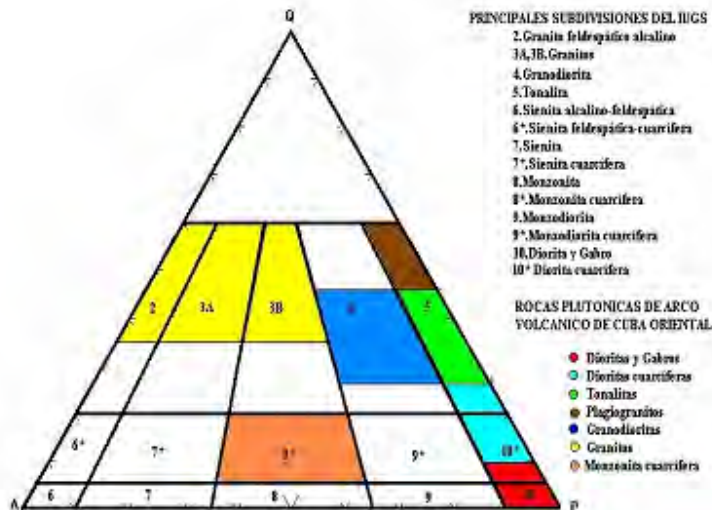
## BIBLIOGRAFÍA

- Alioshin, V., et al. 1982. Informe final sobre los resultados de los trabajos de Levantamiento geológico y búsqueda en escala 1: 100 000 ejecutados en las montañas de la Sierra Maestra en la provincia de Stgo de Cuba. Sierra Maestra nororiental. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Golovkin, L., et al. 1978. Informe sobre los resultados del mapeo geológico a escala 1:100000 realizado en la parte occidental de la Sierra Maestra. Empresa Geológica Santiago.
- Grechanick, T., Norman, A., 1969. Informe sobre los resultados del Levantamiento a escala 1: 50 000 que se realizaron en la cuenca de los ríos Cobre, Cañas y Cauto en los años 1967-1969. Oficina Territorial Santiago de Cuba de Recursos Minerales.
- Kuzovkov, G., et al. 1983. Informe final sobre los resultados del Levantamiento geológico 1: 100 000 realizados por la Brigada Sierra Maestra en la pendiente Sur del Turquino, parte Oeste de la provincia de Santiago de Cuba durante los años 1974-1977. Archivo Técnico. E.G.M.O.
- Nagy, E., et al. 1976. Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1: 250, 000, levantado y confeccionado por la Brigada Cubana-Húngara entre 1972 y 1976. Oficina Territorial Santiago de Cuba de Recursos Minerales.

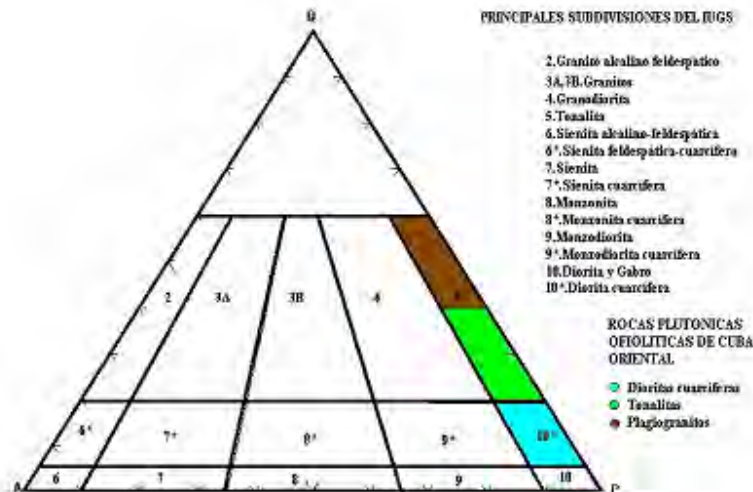


Fig.1

## UBICACIÓN DE LAS ROCAS PLUTONICAS DE ARCO VOLCANICO DE CUBA ORIENTAL EN LA CLASIFICACION DEL IGUS

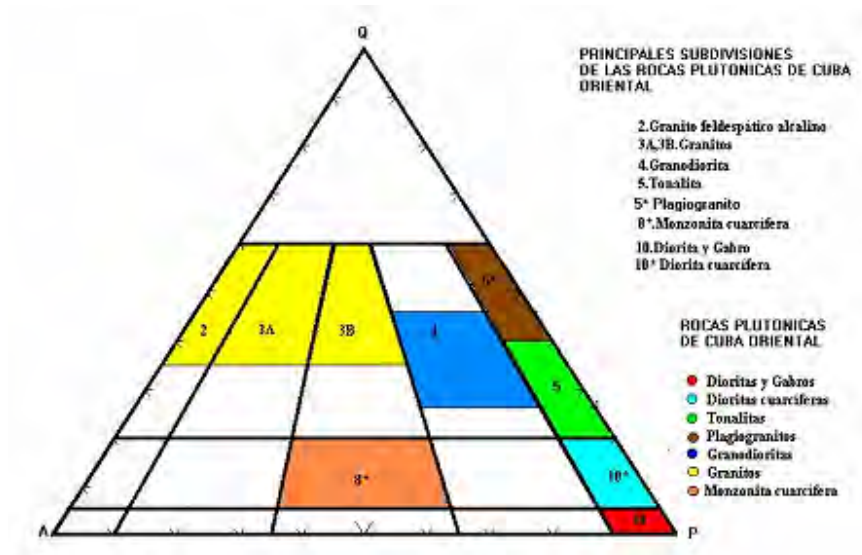


## UBICACIÓN DE LAS ROCAS PLUTONICAS OFIOLITICAS DE CUBA ORIENTAL EN LA CLASIFICACION DEL IGUS





## UBICACIÓN DE LAS ROCAS PLUTONICAS GRANITOIDEAS DE CUBA ORIENTAL EN LA CLASIFICACION DEL IGUS





**GLOSARIO DE TERMINOS :MINERALOGIA Y TEXTURAS DE LAS ROCAS IGNEAS PLUTONICAS GRANITOIDEAS DE CUBA ORIENTAL**

**Tabla I**

ROCAS	PLAGIOCLASAS	MAFICOS	ACCESORIOS	TEXTURAS (Masgenerales)	SECUNDARIOS
<b>ROCAS GRANITICAS</b>					
TONALITAS	Plagioclasas An24-An38 (oligoclasa- andesina) Feldespato (Ortosa)	Biotita y Anfíbol hornblenda 10-15%	Circón, ortita, apatito, magnetita.	Hipidiomórfico granular Alotriomórfico granular	Cloritización Carbonatización Epidotización de las plagioclasas y máficos
GRANODIORITAS	Plagioclasas An24-An38 (oligoclasa- andesina) Feldespato (Ortosa)	Biotita y Anfíbol hornblenda 5-10%	Circón, ortita, apatito, rutilo.	Hipidiomórfico granular	Pelitización, Sericitización y Prehnitización de las plagioclasas y cloritización de máficos.
PLAGIOGRANITOS	Plagioclasas An20-An30 (oligoclasa) Feldespato (Ortosa)	Biotita y Anfíbol hornblenda 5-10%	Circón, ortita, apatito, rutilo, esfena.	Hipidiomórfico granular Alotriomórfico granular	Epidotización Pelitización Sericitización Cloritización Cuarzificación de las plagioclase y cloritización Actinolitización y epidotización de máficos.
GRANITOS	Plagioclasas An12-An16 y FeldK Ortosa	Biotita 1-2%	Circón, apatito.	Alotriomórfico granular	Pelitización de las plagioclasas, cloritización de máficos.
GRANITO FELDESPATICO ALCALINO	Plagioclasas An6-An12 Y FeldK Ortosa	Biotita 1-2%	Apatito.	Aplitica Micropegmatítica	Pelitización de las plagioclasas, cloritización de máficos

Cont:

ROCAS	FELDESPATOS	MAFICOS	ACCESORIOS	TEXTURAS (Masgenerales)	SECUNDARIOS
ROCAS SIENITICAS					
MONZONITA CUARCIFERA	Plagioclasas An20-An30 (oligoclasa) Feldespato (Ortosa)	Biotita 10%	Circón	Monzonitica	.Pelitización de las plagioclasas y cloritización de máficos
ROCAS DIORITICAS					
DIORITAS	Plagioclasas An28-An48 (oligoclasa- andesina) Feldespato (Ortosa)	Anfibol hornblenda Piroxenos relicticos 20-30%	Magnetita, magnetita con titanio, circón, apatito.	Hipidiomórfico granular	Epidotización Cloritización Albitización Sericitización Prehnitización Zeolitización
DIORITAS CUARCIFERAS	Plagioclasas An25-An32 (oligoclasa- andesina) Feldespato (Ortosa)	Anfibol horblenda y Biotita 15-20%	Circón,apatito,magnetita,esfe na ,rutilo,ortita.	Hipidiomórfico granular Alotriomórfico granular	Saussuritización Cuarcificación Carbonatización de las plagioclasas y máficos cloritizados, epidotizados, carbonatizados, actinolitizados.
MAFICAS Y ULTRAMAFICAS					
ROCAS GABROICAS ligadas al arco volcánico					
GABROS ASOCIADOS A LOS GRANITOIDES DE ARCO VOLCANICO	Plagioclasas An70 (labrador) puede llegar a andesina por la alteración Feldespato (Ortosa)	Augita Hiperstena 30-50%	Magnetita, magnetita con titanio, leucoxeno, apatito.	Gabroideas,ofítica,suboofi tica,hipidiomórfico granulares,taxiticas, poiquiliticas	Albitización, epidotización, saussuritización, cloritización, de las plagioclasas y anfibolitización, cloritización, talquitización de máficos



## CLASIFICACION DE LOS RECURSOS DE AGUAS MINERALES DE LA NACION Y SU BALANCE O ESTADO ANUAL.

**Jorge E. Castillo Burgos**

**Oficina Nacional de Recursos Minerales. Salvador Allende No.666. e/ Oquendo y Soledad Centro Habana. C. Habana. Cuba. C.Elect. [castillo@onrm.minbas.cu](mailto:castillo@onrm.minbas.cu).**

### RESUMEN

Las aguas minerales son un tipo de agua subterránea, clasificadas como Recursos Minerales, dentro del Grupo IV de la Ley 76. Ley de Minas.

El presente trabajo consta de 2 partes. La parte I consiste en la elaboración de una **Clasificación de los Recursos de Aguas Minerales, y en la Parte II, se desarrolla el procedimiento de la confección del Balance o Estado Anual de los Recursos de estos yacimientos del país**, a elaborar por los concesionarios, donde se sustituyen los conceptos de **Recursos y Reservas**, que tradicionalmente se han utilizado en la exploración y explotación de dichas aguas minerales, por los conceptos de **Recursos Disponibles y Recursos de Explotación**.

Esta clasificación está acorde con la sostenibilidad de la explotación, la protección y uso racional de las aguas minerales, que permite controlar la estabilidad del caudal y la calidad en al menos un ciclo hidrológico, condición indispensables, para tal denominación, según la Norma de Agua Mineral vigente.

En Relación al Balance o Estado de los Recursos, tiene dentro de sus objetivos principales tener actualizado el estado cuantitativo y cualitativo de los yacimientos, el cual parte de la clasificación antes expuesta.

Dentro de los resultados del presente trabajo están:

La Introducción de una clasificación de los diferentes recursos de aguas minerales, que lleva implícita la sostenibilidad de las mismas, a saber, solo se proyecta un caudal de explotación igual o menor a los Recursos de Explotación del acuífero, que garantizan la renovabilidad del acuífero.

La elaboración de un procedimiento que permite: el control de la explotación de los yacimientos de aguas minerales, que concluye con el Informe del Estado Anual de dichos recursos, y por ende su certificación permanente por la Autoridades Mineras y Sanitarias del país

La incorporación al Balance Anual de los Recursos y las Reservas de la Nación de la información correspondiente a estos recursos minerales, con el carácter dinámico que caracterizan a dichas aguas.

### ABSTRACT

#### CLASSIFICATION OF THE MINERAL WATER RESOURCES OF CUBA AND ITS ANNUAL BALANCE.

Mineral water are an underground type of water, classified as Mineral Resources, in the IV Group of Law 76. Law of Mines.

The present work consists of 2 parts. Part I consists on the elaboration of the Classification of the Mineral Water Resources, and in Part II, for the preparation of the Annual Balance is developed the procedure of the balance of the Resources of these deposits of the country, where the concepts of Resources and Reserves, that traditionally have been used in mineral water, are replaced for the concepts of Available Resources and Resources of Operation.

This Classification agreed with the sustainability of the operation, protection and rational use of the mineral water. This allow to control the stability of the volume and the quality in, at least, one hydrologic cycle. Indispensable condition for such denomination according to the Mineral Water Norm.

The results of the present work are:

- The Introduction of a classification of the different mineral water resources, that takes implicit the sustainability of them.
- The elaboration of a procedure that allows: the control of the operation of the mineral water deposits. that conclude with the Report of the Annual Balance of these resources, and therefore their permanent certification by the Mining and Sanitary Authorities of the country.
- Incorporation, to the Annual Balance of the Resources and the Reserves of



the Nation, the information corresponding to these mineral resources, with the dynamic character that characterizes these waters.

## PARTE I

### INTRODUCCIÓN

Las aguas minerales forman parte de las aguas terrestres, en particular de las aguas subterráneas, pero son excluidas de estas, por el Decreto Ley 138/93. " De las Aguas Terrestres " <sup>(1)</sup>, de competencia del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, que incluyen las aguas superficiales y las subterráneas. Las aguas minerales son un tipo de agua subterránea, clasificadas como Recursos Minerales, dentro del Grupo IV de la Ley 76. Ley de Minas <sup>(2)</sup>.

En Cuba, no existe una resolución específica de clasificación de Recursos y Reservas de aguas subterráneas en general, ni de las aguas minerales en particular, a diferencia de los Minerales Sólidos, que disponen de la **RESOLUCIÓN No 215/99** <sup>(3)</sup>, utilizándose indistintamente diversas clasificaciones, por lo que se impone proponer la Clasificación de los Recursos de las Aguas Minerales

Este documento está acorde a las clasificaciones que actualmente son más utilizadas internacional y nacionalmente en las investigaciones referidas a las aguas subterráneas.

Los conceptos de Recursos Disponibles y Recursos de Explotación que se introducen, sustituyendo los de Recursos y Reservas, respectivamente, que tradicionalmente se han utilizado, están acorde con la sostenibilidad de la explotación, pues los mismos dependen, para el primer caso de la alimentación neta del acuífero y para el segundo, del caudal que se puede extraer del mismo, sin provocar alteraciones cuantitativas, ni cualitativas, a saber, se trata del rendimiento seguro (safe yield) de dicho acuífero.

Se tiene en cuenta además, el dinamismo de las estimaciones de estos recursos, no solo desde el punto de vista natural (la renobabilidad de los mismos, siempre y cuando se garantice explotar dentro de los límites de dichos recursos disponibles), sino además, desde el punto de vista de las etapas de los trabajos hidrogeológicos, los adelantos tecnológicos, de la rigurosidad de las normativas para este tipo de agua y de su factibilidad.

### MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se exponen algunas definiciones de partida para la presente clasificación.

**Agua Mineral (Definiciones)** según la NC 93 – 01- 218-de 1995. Aguas Minerales <sup>(4)</sup>, "es el agua de origen natural, cuyas características físicas, químicas, microbiológicas, con caudal determinado, **estable durante un ciclo hidrológico**, cumple los requisitos higiénicos y sanitarios establecidos". Las aguas minerales según sus usos pueden ser minerales naturales (para ingestión), minerales medicinales (aplicación e ingestión), termales (aplicación o aprovechamiento energético) e industriales (aprovechamiento de los minerales que la componen).

Los principales atributos de las aguas minerales son: la estabilidad de su calidad y del caudal estimado y la pureza bacteriológica de la fuente.

**Recursos Q:** volumen de agua disponible para la explotación de un acuífero, expresados en unidades de caudal, con carácter dinámico.





**Recursos disponibles  $Q_D$ :** representa el volumen de agua que puede extraerse permanentemente a largo plazo de un acuífero sin que experimente una reducción de la reserva permanente, expresados en término de caudal. Estos recursos dependen fundamentalmente de la alimentación neta del acuífero y se refiere al caudal de escurrimiento subterráneo bajo condiciones de equilibrio natural.

**Recursos explotables  $Q_E$ :** volumen de agua que se puede captar de un acuífero a largo plazo sin originar alteraciones indeseables en el régimen de las aguas subterráneas teniendo en cuenta condiciones técnicas y económicas, expresado en término de caudal. La concepción de las obras de captación influye notablemente en estos recursos, así como el propio efecto de la explotación

**Recursos asegurados o caudal seguro (*safe yield*):** es el límite del caudal que puede extraerse regular y de forma permanente de un acuífero, sin una disminución riesgosa de las reservas del mismo, de forma tal que su extracción anual no sea mayor que el volumen de agua subterránea, que provoque la intrusión de agua clasificada como No Conforme desde el punto de vista de su calidad.

**Reservas:** cantidad de agua almacenada en un acuífero que drena por la acción de la gravedad, con un carácter estático y expresado en unidades de volumen.

**Las reservas permanentes** se corresponden con las reservas mínimas medias de un acuífero, o sea, la cantidad de agua almacenada en el mismo, limitada por la superficie piezométrica mínima.

## RESULTADOS

Se definen los conceptos de recursos disponibles y de explotación de agua mineral y se establecen los requisitos y principios generales para la clasificación de los mismos, los cuales satisfacen su doble condición, de agua subterránea y de recurso mineral.

**Recursos Disponibles de Aguas Minerales: (QD)** Representa el caudal disponible de agua subterránea en una región dada, cuyas características, tanto cuantitativas (caudal), como cualitativas (químicas, físicas y bacteriológicas) permiten definirla como agua mineral, según la normativa vigente de Aguas Minerales <sup>(4)</sup>, y hacen posible su explotación económicamente favorable en las condiciones actuales o futuras. El valor del caudal o recurso disponible no puede ser mayor que los recursos (alimentación) asegurados del acuífero.

Los **recursos disponibles** se clasifican en **recursos disponibles identificados** y **recursos disponibles no identificados**.

**Recursos disponibles identificados(QDI):** Representa el caudal que se puede extraer de un acuífero teniendo en cuenta las condiciones técnicas racionales de explotación (concepción de las obras de captación, su disposición etc.) sin alterar el régimen de explotación, ni la calidad del agua mineral durante el periodo de cálculo previsto para la obra de captación. Sus características cuantitativas y cualitativas, así como los parámetros hidrogeológicos fundamentales, incluyendo el funcionamiento del acuífero (condiciones de alimentación, circulación y descarga) y sus zonas de protección, se conocen o se han estimado como resultado de investigaciones hidrogeológicas.

Los recursos identificados se dividen a su vez en **recursos medidos**, **recursos indicados** y **recursos inferidos**.



**Recursos Medidos: (QDI<sub>md</sub>)** Es la parte de los recursos identificados de agua mineral, estudiado sobre la base de estudios hidrogeológicos a tal detalle que permite confiablemente pronosticar su calidad, cantidad y condiciones de explotación para un determinado uso, durante todo el tiempo de explotación, previsto para la obra de captación.

Para la determinación de los recursos medidos se utilizan los datos reales de bombeos experimentales en pozos o manantiales, o los gastos obtenidos por las obras de explotación.

La naturaleza y calidad de los datos es tal, que no deja lugar a duda a que cualquier variación del estimado del caudal y la calidad del agua, no será significativa para afectar la aplicación de parámetros técnicos y financieros en la evaluación de su factibilidad económica.

**Recursos indicados: (QDI<sub>id</sub>)** Es la parte de los recursos identificados de agua mineral, estudiado a tal detalle que permite de manera general fundamentar las posibilidades de su uso; pronosticar su calidad, cantidad y condiciones de explotación, durante todo el tiempo de explotación previsto para la obra de captación.

La naturaleza y calidad de los datos es tal, que es posible asegurar que el recurso está estimado con un grado de confiabilidad razonable en su marco hidrogeológico.

La confianza en el estimado deberá hacer posible la aplicación de parámetros técnicos y financieros en la evaluación de su factibilidad económica

**Recursos inferidos: (QDI<sub>if</sub>)** Es la parte de los recursos identificados de agua mineral, estudiado y estimado sobre la base de trabajos geólogo-hidrogeológicos contemplados en la fase de prospección o por extrapolación de los de exploración, pero que la cantidad de datos y su confiabilidad no es suficiente para realizar una evaluación confiable del marco hidrogeológico

No se puede predecir que todo o parte de los recursos inferidos debe ser elevado a recursos indicados o medidos.

**Recursos disponibles no identificados (QDI<sub>ni</sub>)**: Es la parte de los recursos disponibles de agua mineral, supuestos o intuitos, que se estiman con un alto grado de incertidumbre sobre la base de extrapolaciones hidrogeológicas, del análisis y generalización de los materiales existentes sobre las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la región, así como de las premisas o criterios (geoquímicos, geotérmicos etc.) conocidos. Las subdivisiones de estos recursos no son de interés para las aguas minerales.

**Recursos de explotación (QDE)**. Es el caudal equivalente a una parte, o la totalidad de los recursos medidos o indicados, que puede ser extraído con utilidad económica, según las condiciones reales asumidas en el estudio de factibilidad o prefactibilidad económica.

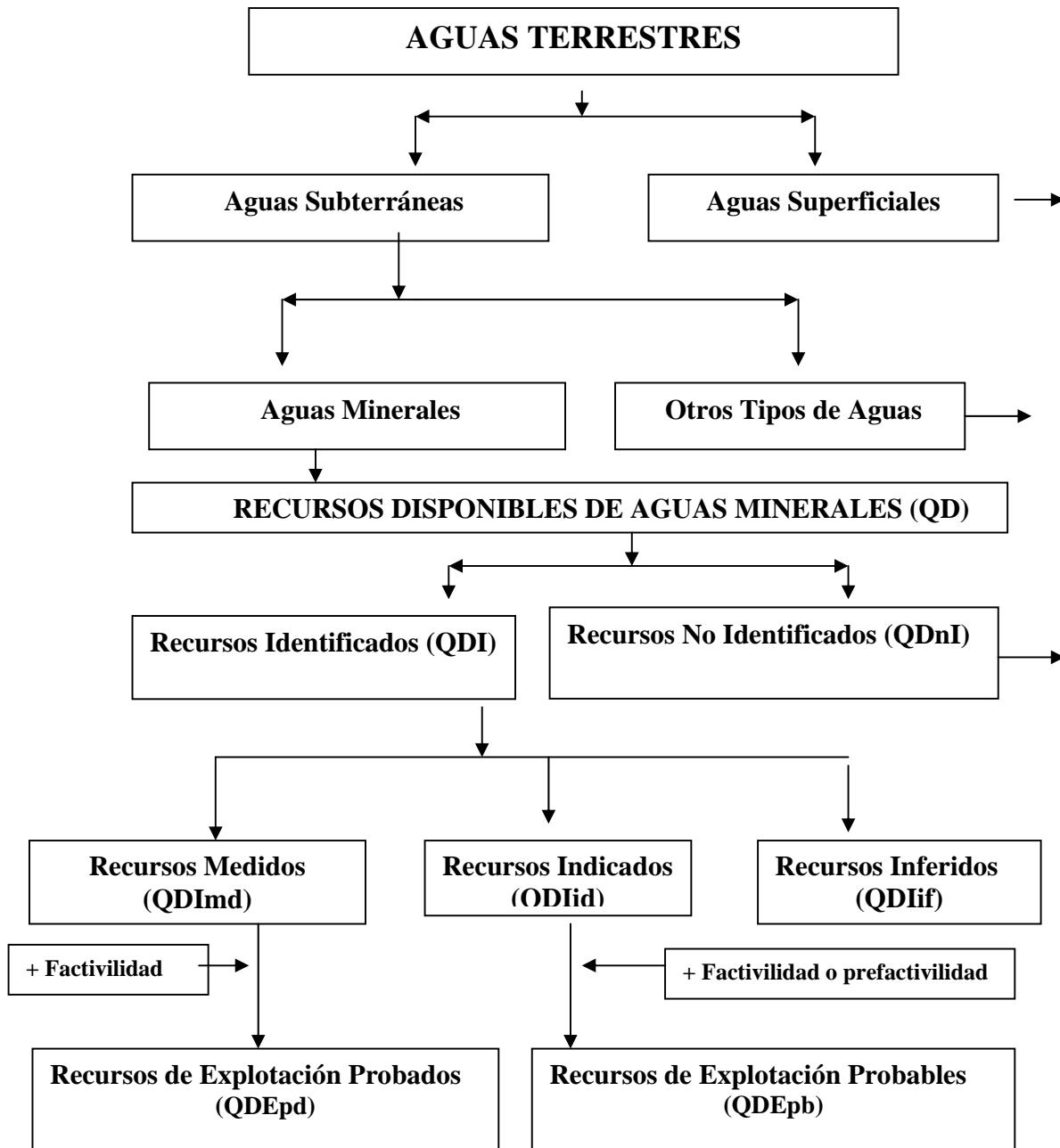
Los estimados de los recursos de explotación provienen de los recursos disponibles, en cuya estimación se han considerado criterios geológicos, hidrogeológicos, técnicos, legales, económicos, medioambientales, higiénico-sanitarios, sociales y gubernamentales.

Los recursos de explotación se dividen en recursos de explotación probados y recursos de explotación probables.

**Recursos de explotación probados (recursos probados) (QDE<sub>pd</sub>)**. Proviene de los recursos medidos y es el caudal equivalente a una parte o la totalidad de estos, cuya viabilidad de explotación en el momento del cálculo, está soportado por un estudio de factibilidad.



**Recursos de explotación probables (recursos probables) (QDEpb).** Proviene de los recursos indicados y es el caudal equivalente a una parte o la totalidad de estos, cuya viabilidad de explotación en el momento del cálculo, está soportado por un estudio de prefactibilidad o factibilidad.



**FIGURA 1. CATEGORÍA DE LOS RECURSOS DE LAS AGUAS MINERALES.**

**Condiciones de cálculo de recursos de explotación:** son las que se establecen por los estudios de factibilidad y prefactibilidad, que permiten el cálculo y la fundamentación de los recursos de explotación por criterios económicos.



Para que los Recursos de Explotación, sean valorados como económicos, las dos cuestiones fundamentales que deben de cumplir, al igual que las reservas de minerales sólidos, es que la Tasa Interna de Retorno (TIR), sea mayor que la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) y el Valor Actual Neto (VAN) >0.

Para la determinación de los Recursos de Explotación de aguas minerales no se tienen en cuenta las pérdidas ni la dilución, aunque esta última puede ocurrir cuando se realiza una explotación irracional, a saber, cuando se sobre explota el acuífero (se explota el acuífero a un caudal mayor que los recursos disponibles) y este se agota o se mezcla con otros horizontes no condicionados, pudiendo afectar su calidad de forma irreversible y por ende dejar de ser agua mineral.

### **GUÍA GENERAL PARA LA CLASIFICACIÓN, ESTIMACIÓN, CÁLCULO Y CONTROL DE RECURSOS DE LAS AGUAS MINERALES.**

1. Los requisitos sobre la forma y contenido de la información de los recursos de aguas minerales aparecen en el Manual de Procedimiento de la Ley 76 de Minas y su Reglamento.
2. Otras cuestiones legales y de procedimientos sobre los recursos de aguas minerales aparecen en las regulaciones y normativas vigentes, en particular la Norma de Agua Mineral <sup>(4)</sup>.
3. Al definir los recursos disponibles de las aguas minerales se tendrán en cuenta, los datos de las investigaciones hidrogeológicas, obtenidos sobre la base de el estudio de al menos un ciclo hidrológico, donde se defina la estabilidad de la calidad y del caudal de dichas aguas y sobre todo, la pureza microbiológica de la fuente y que el mismo sea prospectivo para una adecuada explotación.
4. Los estimados de recursos de las aguas minerales no son cálculos precisos, pues dependen de la interpretación de la información limitada en tiempo y espacio, de entre otras cuestiones, la variabilidad de los parámetros hidrogeológicos e incertidumbre en la valoración de los elementos del ciclo hidrológico; algunos de los cuales pueden variar en un periodo anual o hiperanual.
5. El carácter dinámico de los elementos hidrogeológicos que intervienen en el origen y estimación de los recursos disponibles y los de explotación, precisan que los mismos estén sujetos a la evaluación permanente durante la explotación (bombeos de explotación) y su récord reflejado en un Libro de Registro habilitado al efecto, con una periodicidad tal que permita detectar cualquier variación o no confirmación de los caudales estimados, tanto cuantitativa como cualitativamente y consecuentemente de existir necesidad, realizar un recálculo de estos recursos; todo lo cual se realiza según lo concebido al respecto, en la citada Norma de agua mineral <sup>(4)</sup> y el Manual de Procedimiento al Reglamento de la Ley de Minas <sup>(2)</sup>.
6. Los recálculos tanto de los recursos disponibles como los de explotación tendrán carácter excepcional y se realizarán, solo cuando se confirme que algunos de los elementos involucrados en su análisis primario hayan variado, o por decremento e incremento del caudal estimado (incluyendo su calidad) durante el periodo de explotación. El recálculo de estos recursos se produce como resultado de un estudio hidrogeológico, previa solicitud del concesionario a la Autoridad Minera; o al parecer de esta, de considerarlo necesario.
7. Los recursos disponibles al igual que los recursos de explotación deben expresarse en l/seg. y m<sup>3</sup>/día, debe agregarse además el régimen de explotación a que se somete el yacimiento expresado en l/s x horas/días x días efectivos bombeados en el periodo analizado.



8. El término de recurso de explotación de agua mineral, sólo se usa si se ha realizado un estudio de factibilidad o prefactibilidad económica y si los datos relativos al recurso disponible del cual proviene, indican una factibilidad potencial que se establece, en términos cuantitativos y cualitativos del agua mineral extraída.
9. En el reporte de los recursos disponibles, estos deben especificarse por categorías, no debiéndose reportar las cifras entremezcladas de distintas categorías.
10. Los recursos de explotación probados o probables se reportan de la misma manera que los recursos disponibles, medidos e indicados, respectivamente.
11. Existe una relación directa entre los recursos disponibles indicados y los recursos de explotación probables y entre los recursos disponibles medidos y los recursos de explotación probados, o sea el nivel de confianza de los datos hidrogeológicos para los recursos de explotación probables es el mismo que el requerido para la determinación de los recursos disponibles indicados, y para los recursos de explotación probados, el mismo, que para los recursos disponibles medidos.
12. Si los estimados de las aguas minerales no están avalados por estudio de factibilidad o prefactibilidad económica, estos estimados se corresponden con recursos disponibles. De la misma manera que de ocurrir cambios que afecten la viabilidad de los recursos de explotación, y se consideran como no factibles, entonces se evalúan como recursos disponibles.
13. La calidad que se refleja en la etiqueta debe corresponder con los recursos de explotación certificados por las Autoridades Mineras y Sanitarias del país.

## REQUISITOS GENERALES DE LA CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DISPONIBLES DE AGUA MINERAL

➤ La categorización de los **recursos disponibles como medidos** deberán cumplir, entre otros, los siguientes requisitos:

1. El espesor y tipo de acuífero, nivel de las aguas minerales, composición litológica y variabilidad de las características de filtración de las rocas acuíferas tanto en el plano como en el corte, las condiciones de alimentación y el carácter de la interrelación de los horizontes estudiados con otros horizontes o aguas superficiales, han sido estudiado a tal detalle, que permiten determinar la fuente de origen de este tipo de recurso y fundamentar la metodología de su determinación.
2. Los parámetros de filtración del yacimiento, han sido determinado por datos de bombeos experimentales o por datos de explotación de las aguas minerales, permitiendo valorar su variabilidad en el área y en el corte.
3. La calidad del agua mineral ha sido estudiada en todos los índices relacionados con su uso, quedando demostrado, que en el transcurso del tiempo de explotación previsto, serán constantes o variarán en un rango admitido.
4. Las condiciones técnico – mineras de explotación de las aguas minerales de los yacimientos han sido estudiadas a tal detalle, que permiten la obtención de los datos necesarios para la



confección del proyecto o esquema de explotación del yacimiento y sus planes anuales, según lo dispone la Ley de Minas.

5. Han sido definidas las zonas de protección del yacimiento de agua mineral, según la normativa vigente, a saber, NC 93-01-209: Procedimientos de cálculo para la determinación de la protección sanitaria <sup>(6)</sup>. con su plan de medidas para cada una de ellas, técnica, económica y legalmente establecidas, que contemplen todos los aspectos relacionados con la prevención y corrección de todo tipo de contaminación al acuífero.

➤ La categorización de los **recursos disponibles como indicados** deberán cumplir, entre otros, los siguientes requisitos.

1. El espesor y tipo de acuífero, nivel de las aguas minerales, composición litológica y variabilidad de las características de filtración de las rocas acuíferas tanto en el área como en corte, han sido aclaradas lo suficiente, como para fundamentar con bastante aproximación la metodología del cálculo de los recursos indicados.

2. Sus fuentes de origen se han determinado aproximadamente o estimados por analogía con otros yacimientos explorados.

3. Los parámetros hidrogeológicos han sido determinados por bombeos experimentales y de pruebas, y han quedado aclaradas las principales tendencias de la variabilidad de estos parámetros en el plano y en el corte.

4. La calidad del agua mineral y también su estabilidad en el tiempo de cálculo para la obra de captación, han sido estudiadas en grado tal que se fundamenta la posibilidad de su uso para el objetivo previsto.

5. Las condiciones técnico mineras de explotación de las aguas minerales han sido estudiadas en tal grado, que permiten preliminarmente, identificar las principales características de su explotación.

6. En condiciones hidrogeológicas simples los recursos indicados pueden ser estimados por caudales calculados de pozos proyectados, teniendo en cuenta analogías con áreas (yacimientos) cercanas estudiadas a detalle, o por extrapolación de los datos utilizados en los cálculos de categorías más elevadas.

7. Han sido aclarados los aspectos más generales relacionados con la prevención de todo tipo de contaminación de la fuente y zonas de protección.

La categorización de los **recursos disponibles como inferidos** deberá cumplir entre otros, los siguientes requisitos;

1. La constitución geológica y las características hidrogeológicas del yacimiento de aguas minerales se han establecido de una forma muy general, obtenidos por datos aislados, o por analogía con otras áreas más estudiadas del mismo yacimiento u otro parecido.

2. La calidad de las aguas minerales ha sido estudiada en puntos aislados y responde a las exigencias del uso previsto.





3. Los recursos inferidos se estiman por cálculos de productividad de los pozos futuros de explotación sobre la base de la experimentación aislada de pozos o manantiales, analogía hidrogeológica o extrapolación de datos usados en la fundamentación de categorías más elevadas.

4. Se ha tenido en cuenta el entorno higiénico sanitario en la selección de aquellas regiones donde se deberá estimar los recursos disponibles inferidos.

## PARTE II

### PROCEDIMIENTOS SOBRE LA CONFECCIÓN DEL BALANCE O ESTADO ANUAL DE LOS RECURSOS DISPONIBLES Y DE EXPLOTACIÓN DE LAS AGUAS MINERALES DE LA NACIÓN.

#### INTRODUCCIÓN

No existe una Instrucción específica para elaborar el **Balance o Estado Anual de los Recursos Disponibles y de Explotación de las Aguas Minerales**, a diferencia de los minerales sólidos, que disponen de la **RESOLUCIÓN No 215/99<sup>(3)</sup>**, por lo que se elabora la presente Instrucción.

El Balance o Estado Anual de los Recursos Disponibles y de Explotación de las Aguas Minerales de la Nación, se elabora anualmente, con el objetivo de tener actualizado su estado cuantitativo y cualitativo, controlando y garantizando la protección y el uso racional de tan vulnerable recurso mineral, todo lo cual está dentro de las funciones de la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM).

Dicha protección y uso racional de los recursos minerales es una actividad de dirección, decisión y ejecución de la Minería Nacional, encaminada a asegurar un aprovechamiento sostenible de las aguas minerales del país relacionada con:

- La investigación hidrogeológica, dirigida al descubrimiento, reconocimiento, y estimación de los recursos de aguas minerales, incluyendo el aprovechamiento óptimo de los mismos.
- La construcción y/o adecuación de las infraestructuras de captación (pozos o manantiales)
- El aprovechamiento (embotelladoras o balnearios) de dichos recursos, según proceda.
- El establecimiento de las Zonas de Protección de los yacimientos, con su plan de medidas para cada una de ellas, técnica, económica y legalmente fundamentadas, a saber, con su análisis de costo-beneficio.

#### DEFINICIONES

Los principales conceptos y definiciones de Recursos Disponibles y Recursos de Explotación aparecen en la Clasificación adjunta, de los Recursos de las Aguas Minerales, donde se tuvo en cuenta, las clasificaciones que se manejan para dichos recursos en el ámbito internacional, así como los que prevalecen en el país, por lo que solo se expone la definición que se introduce para estos efectos

**Recursos En Explotación (QEE).** Este término se introduce para controlar los recursos que realmente se extraen del yacimiento, y se corresponde con la parte o el total de los Recursos de Explotación (QE), que son objeto de extracción.

#### DESCRIPCIÓN Y CONTENIDO DE LAS TABLAS PARA EL BALANCE.



El Estado Anual de Recursos de las Aguas Minerales de la Nación, se compone de una tabla general, que es parte del presente Procedimiento, y cuyo contenido se pueden ver en las tablas que se anexan y se describe a continuación

➤ **En la parte superior de la tabla se reflejan, los datos generales:**

- **Del yacimiento como son: Provincia y Municipio al que pertenece el yacimiento y el tipo de agua mineral.**
- **Del concesionario (de estar concesionado): Código y nombre de la concesión y del representante.**

➤ **El cuerpo de la tabla cuenta de hasta 5 registros o filas y 24 campos o columnas, a saber:**

**FILAS:**

I. **Recursos Disponibles Identificados (QDI).** Se reflejan los recursos disponibles y la calidad (los macrocomponentes, microcomponentes y el estado microbiológico) aprobados en el informe hidrogeológico.

II. **Recursos De Explotación:(QDE),** Se reflejan los recursos de explotación. La calidad (los macrocomponentes, microcomponentes y el estado microbiológico) aprobados en el informe hidrogeológico.

III. **Recálculo de los Recursos disponibles y/o de explotación, según corresponda.** Estas filas se habilitan solo en caso de que se realice algún recálculo. Se reflejan los recursos de explotación y la calidad (los macrocomponentes, microcomponentes y el estado microbiológico) recalculados y aprobados en el informe hidrogeológico.

IV. **Recursos En Explotación (QEE).** Se reflejan los recursos diarios de explotación (en m<sup>3</sup>/días) y la calidad, que se presenta es la que realmente se ha extraído, todo lo cual estará reflejado en el Libro de Registro, habilitado al efecto.

V. **Resultado del control de la calidad.** Se reflejan los resultados de calidad obtenido de los controles externos, realizados en laboratorios acreditados, según se dispone en la Norma de Agua Mineral, en su punto 8.1. Requisitos durante la Explotación <sup>(4)</sup>.

VI. **Cálculo del caudal extraído en el periodo en cuestión, teniendo en cuenta el Régimen de extracción, a que ha sido sometido el yacimiento.**

**COLUMNAS:**

➤ **Columna 01.** Se reflejan los diferentes recursos, con sus respectivos totales.

➤ **Columna 02.** En caso de que el yacimiento tenga un solo sector, se deja en blanco.

➤ **Columna 03.** Se identifican todos los pozos o manantiales que tengan algún tipo de recurso.

➤ **Columnas 04-06.** Se refieren a los diferentes tipos de recursos o caudales en categorías de Medidos, Indicados e Inferidos, respectivamente, según corresponda, expresado en l/seg. - m<sup>3</sup>/días.

➤ **Las Columnas 06 y 05-06,** no se llenarán para los **recursos de explotación y recursos en explotación**, pues las mismas se refieren a los recursos inferidos, y a los probados y posibles, respectivamente, que en el primer caso no poseen y en el segundo, no son objeto de explotación.

➤ **Columnas 07 – 20.** En estas columnas se reflejaran los datos de calidad del recurso, correspondiente a los macro y micro elementos y la microbiología, pudiéndose habilitar, de considerarse necesario más columnas, en particular para los dos últimos parámetros de calidad.



## **OTROS ASPECTOS A CONSIDERAR.**

La información reflejada en las tablas debe ser acompañada por una parte textual y otra gráfica, la cual en general debe contener los siguientes aspectos:

### **Una Parte Textual con:**

#### **Resumen de las investigaciones realizadas.**

Contiene cualquier investigación hidrogeológica realizada en el yacimiento, incluyendo los recálculos de los recursos de haber ocurrido.

#### **Los cambios ocurridos en los recursos.**

Se señalan los cambios ocurridos en los recursos, en particular en los componentes químicos, físicos y bacteriológicos, así como, en el comportamiento de los parámetros hidrogeológicos del yacimiento, y en los niveles, los cuales pueden provocar la necesidad de realizar recálculos de los recursos del acuífero.

El análisis de estos cambios, permite controlar la explotación racional y sostenible del yacimiento, y tomar las medidas para garantizar la misma.

#### **Los aspectos económicos.**

Contemplan todos los costos en que se incurren para extraer o embotellar un determinado caudal de agua mineral, incluyendo entre otros aspectos, la valoración económica de los trabajos realizados para la explotación y protección del yacimiento, y las medidas en las zonas de protección.

#### **Las conclusiones y recomendaciones.**

Se analizan las principales dificultades surgidas en el periodo que se informa, las soluciones dadas, y las recomendaciones para garantizar la futura explotación racional y sostenible del yacimiento.

#### **Otra Parte Gráfica.**

Consiste en la elaboración de un gráfico, a partir de los datos que se han reflejado en el Libro de Registro, con el comportamiento de las diferentes variables de calidad del yacimiento en el año, comparado este con el comportamiento de la precipitación.

#### **Se debe considerar además.**

- Que como resultado del Balance, la Autoridad Minera podrá emitir un certificado del estado de los recursos; que avalen de forma oficial los caudales y la calidad de los mismos.
- El Balance o Estado de las aguas minerales será entregado por los concesionarios a la Oficina Nacional de Recursos Minerales, antes del 1<sup>ro</sup> de Marzo, el cual se editará antes del 30 de junio de cada año.



## CONCLUSIONES.

1. Se Introduce una clasificación con los diferentes recursos de aguas minerales, que lleva implícita la sostenibilidad de las mismas, a saber, solo se proyecta un caudal de explotación igual o menor a los Recursos de Explotación del acuífero, que garantizan su renovabilidad.
2. Se diseña un procedimiento que permite:
  - El control de la explotación de los yacimientos de aguas minerales.
  - La elaboración del Informe del Estado Anual de dichos recursos, y por ende su certificación permanente por la Autoridades Mineras y Sanitarias del país.
  - La incorporación al Balance Anual de los Recursos y las Reservas de la Nación de la información correspondiente a estos recursos minerales, con el carácter dinámico que caracterizan a dichas aguas.

## BIBLIOGRAFÍA

- <sup>(1)</sup>. Decreto Ley 138/93., (1993). "De las Aguas Terrestres"
- <sup>(2)</sup>. Ley 76. Ley de Minas, el Reglamento (Decreto 222) y su Manual de Procedimiento Minero.
- <sup>(3)</sup>. RESOLUCIÓN No 215/99. Clasificación de Recursos y Reservas de Minerales Útiles Sólidos y la Instrucción sobre el Balance Anual de los Recursos y las Reservas Minerales de la Nación.
- <sup>(4)</sup>. NC 93 – 01- 218-de 1995. Aguas Minerales. Requisitos para la Clasificación, Evaluación, Explotación y Utilización. En esta norma se dispone entre otras cuestiones las definiciones de los tipos de aguas minerales, así como:
  - Los requisitos para ser considerada como agua mineral: **Demostrada estabilidad en el tiempo en los aspectos cuantitativos (la mineralización, los componentes bioactivos y la temperatura) y microbiológicos (la calidad bacteriológica)**
  - **Los requisitos de evaluación de un agua mineral.** Avalado por un estudio hidrogeológico, donde se demuestre la estabilidad de los caudales y de las propiedades físico - químicas y bacteriológicas y las zonas de protección necesarias para el mantenimiento de dicha estabilidad.
  - **Requisitos durante la explotación.** Someterse a un control periódico de laboratorio y terreno, como mínimo de 2 veces al año en el lugar de captación y el punto de utilización, por una entidad ajena al concesionario, con los parámetros siguientes: Caudales, niveles estáticos y dinámicos, propiedades físicas - químicas (macro y micro componentes) y la microbiología.
- <sup>(5)</sup>. NC 2: 1996. Agua de Bebida Envasadas. Especificaciones. Pto. 4.3.
- <sup>(6)</sup>. NC 93-01-209.1990. Procedimiento de cálculo para la determinación de la protección sanitaria



ESTADO DE LOS RECURSOS DE AGUAS MINERALES																							
YACIMIENTO CONCESIONADO (EN EXPLOTACION)																							
PROVINCIA:		MUNICIPIO:																					
CODIGO DEL EXPEDIENTE----																							
NOMBRE Y APELLIDOS DEL REPRESENTANTE -----																							
YACIMIENTO-----		UNIDAD EXTRACTIVA:																					
MATERIA PRIMA -----		Agua Mineral Natural																					
UNIDAD DE MEDIDA-----		l/seg - m3/días																					
SEC	POZO	l/seg - m3/días			MINE RALIZ (g/l)	PH	TEMP. °C	MACROELEMENTOS								MICROELEMENTOS				MICROBIOLOG			
		Medidos/ Probados	Indic/ Prob	Inferidos				HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	CL	Ca	Na	K	Mg	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	CT	CF	EF	SD	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I. RECURSOS DISPONIBLES IDENTIFICADOS (QDI)		PR-7	2.7- (233.3)	1.3- (112.3)	1.6 (138.3)	0,376	6,8		354	16	22	112	24		3		19			20	<2	<2	<2
Total (QDI)*		PR-7	2.7- (233.3)	1.3- (112.3)	1.6 (138.3)	0,376	6,8		354	16	22	112	24		3		19			20	<2	<2	<2
II. REC. DE EXPLOTACION (QDE)		PR-7	2.7- (233.3)	1.3- (112.3)		0,376	6,8		354	16	22	112	24		3		19			15	<2	<2	<2
Total (QDE) *		PR-7	2.7- (233.3)	1.3- (112.3)		0,376	6,8		354	16	22	112	24		3		19			15	<2	<2	<2
III RECALCULO DE RECURSO DE EXPLOTACION (QDE)		PR-7	4.0-345.0			0,4	7		365	18	20	120	22		5		22			18	<2	<2	<2
IV. REC. EN EXPLOTACION (QEE)		PR-7	3.82 (330.0)			0,38			354	16	22	112	24		3		19			17	<2	<2	<2
Total (QEE)			3.82 (330.0)			0,38			354	16	22	112	24		3		19			17	<2	<2	<2
Resultados de las calidad por Control Externo:						4			360	18	21	108	22		3		17			19	<2	<2	<2
Cálculo del caudal extraído (Régimen de Extracción) en el año: 3.82 l/seg (330 m3/días) x 360 días = 118800 m3/años																							

ESTADO DE LOS RECURSOS DE AGUAS MINERALES																								
YACIMIENTO NO CONCESIONADO																								
PROVINCIA:..... MUNICIPIO:.....																								
YACIMIENTO:.....																								
MATERIA PRIMA ---- Agua Mineral Natural																								
UNIDAD DE MEDIDA-----l/seg - m3/días																								
1	SEC TOR	POZO	-l/seg - m3/días			MINE RALIZ. (g/l)	PH	TEMP. °C	MACROELEMENTOS								MICROELEMENTOS				MICROBIOLOGIA			
			Medidos/	Indic/	Inferidos				HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	CL	Ca	Na	K	Mg	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	F	NO <sub>2</sub>	CT	CF	EF	SD	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
I. RECURSOS DISPONIBLES IDENTIFICADOS QDI		P-2	0	1.6 (136.0)	2.5- (216.0)	0,6	7,4		400	20	28	74,3	14,7	1	45,3		74		30	<2	<2	<2		
<b>Total</b>	<b>QDI</b>	P-2	0	1.6 (136.0)	2.5- (216.0)	0,6	7,4		400	20	28	74,3	14,7	1	45,3		74		30	<2	<2	<2		





## ESTIMACIÓN DE CAUDALES PICOS DE CRECIENTES EN LA MICROCUENCA DE DRENAJE DE LA QUEBRADA CURUCUTÍ, ESTADO VARGAS, VENEZUELA

Williams Méndez<sup>1</sup> y José Córdova<sup>2</sup>

(1) Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Caracas, Departamento de Ciencias de la Tierra, Núcleo de Investigación "Estudios del Medio Físico Venezolano", e-mail: [wjmenandezmata@yahoo.com](mailto:wjmenandezmata@yahoo.com)

(2) Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Hidráulica, e-mail: [jcordova@usb.ve](mailto:jcordova@usb.ve)

Para la estimación de caudales picos de crecientes como parte de la investigación que se lleva a cabo a través del Proyecto "Hidrogeomorfología de cuencas de drenaje de la vertiente norte del Macizo del Ávila, estado Vargas, Venezuela", se procedió a calibrar el Modelo del HUIG en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí. Esta microcuenca se ubica en el sector centro occidental del estado Vargas al norte de Venezuela, y su localización geoastronómica está definida por las coordenadas: 10°33'08" – 10°36'23" LN y 66°57'38" – 66°59'14" LO. Para la aplicación del modelo del HUIG, se ejecutaron tres etapas fundamentales concatenadas en el siguiente orden: (a) cálculo de los hietogramas de exceso de lluvia a partir de los hietogramas de diseño suministrados para la investigación; (b) cálculo de intensidades de la lluvia efectiva; y (c) estimación propiamente dicha de los caudales picos de crecientes. La calibración del modelo en la microcuenca de drenaje de la quebrada Curucutí, dependió de los siguientes parámetros: (a) el número adimensional de curva CN, utilizado para el cálculo de los hietogramas de exceso de lluvia; (b) los parámetros morfométricos de la cuenca (pendiente media (S) de la corriente de orden más alto; ancho máximo del cauce (b) de la corriente de orden más alto en la sección hidráulica de interés; longitud total (L) de la corriente de orden más alto; área de drenaje (A) de la corriente de orden más alto hasta la sección hidráulica de interés; relación de longitud media ( $R_L$ ) de la red de drenaje hasta la sección hidráulica de interés) utilizados en el cálculo de los caudales picos de crecientes; y (c) la n (coeficiente de rugosidad del lecho de la quebrada) de Manning, el cual es un parámetro hidráulico que se utilizó también en el cálculo de los caudales picos de crecientes. Los caudales obtenidos para distintos períodos de retorno (2,33, 5, 10, 25, 50, 100, 500 y 1000 años) y duraciones de la lluvia a intervalos de 5 minutos durante 24 horas, se compararon estadísticamente con los obtenidos por González y Córdova (2003) para la misma microcuenca, por el método de la onda cinemática. Los coeficientes de correlación arrojaron muy buenas aproximaciones, con lo que se afirma que la calibración estuvo bastante ajustada. Ello permitirá aplicar este modelo calibrado a otras cuencas de drenaje con características fisiográficas similares, e información hidrológica escasa o inexistente.



## AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CIRCULACIÓN SUPERPROFUNDA EN LA PENÍNSULA DE GUANAHACABIBES, PINAR DEL RÍO, CUBA

Peláez García Roberto<sup>(1)</sup> González Cabrera Nelson<sup>(2)</sup>

(1) MINBAS, Empresa Geominera Pinar (2) CITMA-Ecovida Pinar del Río

En la Península de Guanahacabibes fue creado un Parque Nacional con el objetivo de proteger los ecosistemas tanto marinos como terrestres, desarrollar el ecoturismo, proteger los cuerpos de agua y humedales asociados. El Plan de Desarrollo de la Península tiene entre sus lineamientos construir 1500 habitaciones, marina, helipuerto, obras viales, entre otros, basados en estudios ambientales muy rigurosos de acuerdo a la legislación vigente. La necesidad de agua calculada para el desarrollo turístico y social fue evaluada en 30 l/s (259 m<sup>3</sup>/día). Al ser el agua dulce un recurso importante que soporta todo este desarrollo y por cierto muy deficitario en este territorio debido a la intrusión de las aguas marinas en el acuífero 1 Neógeno-Cuaternario, se presenta en este trabajo una variante para la prospección de aguas subterráneas en el acuífero 2 Jurásico Superior cuyo techo yace a gran profundidad en este territorio (900-950 m); pero la dirección del flujo regional hacia la península desde la Cordillera de los Organos y su descarga en el Mar Caribe así como sus recursos de aguas subterráneas, demostrada en el trabajo, puede resolver en nuestra opinión la tarea planteada. Sin negar que existen otras variantes para el abastecimiento de agua a este futuro polo turístico como son: desalinización de agua de mar, importación de agua subterránea desde cuencas distantes y otras. El trabajo también demuestra como el entendimiento del flujo regional de las aguas subterráneas puede resolver tareas sumamente complejas como la que tratamos en este trabajo.

**Palabras clave:** acuífero profundo, intrusión marina, flujo regional, Pinar del Río, Cuba



## **CARACTERÍSTICAS EVOLUTIVA DEL DRENAJE FLUVIO-CARSICO EN EL VALLE DE SAN CARLOS, SIERRA DE LOS ORGANOS, PINAR DEL RIO, CUBA.**

Leonardo Flores Valdés (1) y Ernesto Flores Valdés.(2)

(1) Sociedad Espeleológica de Cuba, Ave. 9na. No. 8402, e/ 84 y 84 A. Playa, Ciudad de la Habana, Cuba.

(2) Centro de Hidrología y Calidad de las Aguas del INRH, Cuba, Monserrate No. 213 .e/ Empedrado y Tejadillo , Habana Vieja, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Eléct.: cenhica@ceniai.inf.cu

### **RESUMEN.**

Los distintos cambios climáticos ocurridos durante el período Cuaternario en el Mediterráneo Americano, han dejado sus huellas en Cuba Occidental. Sobre todo en el modelado y evolución del drenaje fluvio-cársico de los polje o valles cársicos de la Sierra de los Órganos.

Es conocido que en estas regiones se han registrado desde tiempos históricos, la ocurrencia de importantes inundaciones después de intensas lluvias, turbonadas o ciclones. Debido a que los actuales cauces no pueden evacuar tales volúmenes de agua, se activan las antiguas redes de drenaje. Este fenómeno se está produciendo con mayor frecuencia en los valles de Santo Tomás, Sumidero, La Majagua, Canteras y de forma espectacular en el valle de San Carlos, donde las inundaciones del río Cuyaguatzeje han alcanzado hasta 20 metros sobre el nivel del cauce actual, convirtiendo el área en un gran lago. Por ello fue necesario definir los paleo-sistemas de drenaje del valle, así como las áreas de inundación y los sistemas cavernarios que aportan su drenaje al valle y la descarga del mismo, así como las posibles direcciones de la circulación de las aguas superficiales en el paleodrenaje.

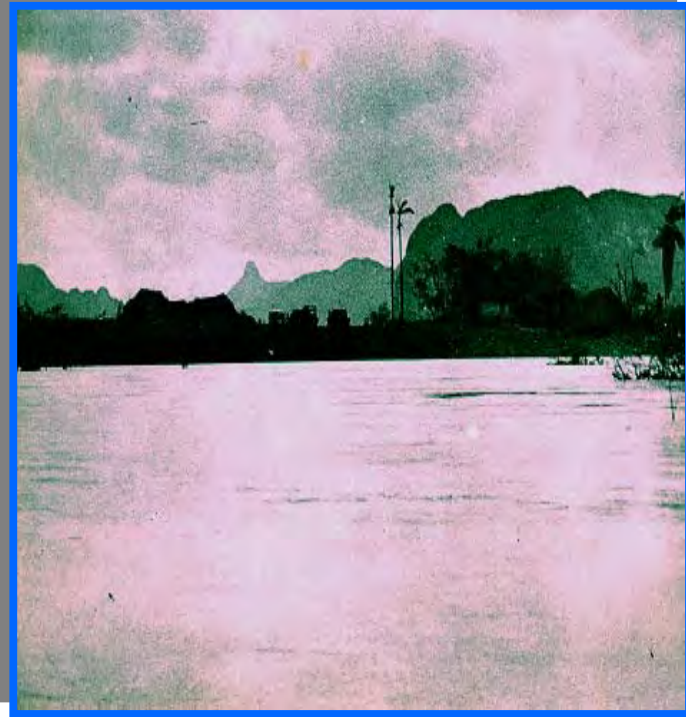
En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del análisis de algunas evidencias geomorfológicas, hidrológicas y cársicas encontradas en el polje, mediante la aplicación de métodos geomorfológicos de levantamiento y análisis estadístico, conjuntamente con la correlación de los niveles de terrazas y/o cavernamiento con los niveles de fluctuaciones glacioeustáticos ocurridos en el Cuaternario. Se determinaron 4 niveles de terrazas fluviales en el valle, que correlacionan con los niveles de cavernamiento más bajos de los sistemas cavernarios que drenan convergentes al mismo, (Majaguas-Canteras, Herrería-Amadea, Fuente, Resolladero y la porción este del Pesquero). Se realizó la reconstrucción del paleodrenaje del valle, que dio como resultado el reconocimiento de 2 cuencas endorréicas con 2 redes fluviales independientes, de edad correlacionada con el interglacial Yarmouth (correspondiendo a la terraza superior del polje).



## INTRODUCCION

La características cambiantes del clima a escala global y sobre todo a escala regional, en nuestra área de acción, el Mediterráneo Americano, ha provocado una inestabilidad de las condiciones meteorológicas, propiciando un incremento de la influencia de las anomalías del Niño y/o la Niña en el desarrollo de los sistemas tropicales y subtropicales que dan origen a las turbonadas, ciclones, huracanes e intensas lluvias.

Por encontrarse Cuba a la entrada del Golfo de México, las probabilidades de que un ciclón o turbonada afecte a la isla es mayor cuando mayor sea la cantidad de fenómenos que se formen en la región y



que por regla general o atraviesa el territorio nacional o afecta con intensas lluvias amplias regiones del país, dejando inundaciones como lo fueron el ciclón Frederick, el Alberto, la Tormenta del Siglo y los dos últimos, el Lili y su antecesor que atravesaron la provincia de Pinar del Río por casi la misma trayectoria con solo 10 días de diferencia.

Para tan solo tener una idea de lo que representó en volumen de precipitaciones para esta provincia el ciclón Frederick, podemos comparar las precipitaciones media anual para la región de estudio, que es de 1 600 a 1 800 mm con las precipitaciones caídas los días 9 y 10 de septiembre de 1979, que fueron de 130 a 180 mm en solo 24 horas, llegando en la zona del aeropuerto José Martí en Ciudad de la Habana, alcanzar los 500 mm en el mismo periodo de tiempo.

Tras el paso de un fenómeno de este tipo quedan la destrucción que provoca, las pérdidas materiales y las inundaciones que prolongan el periodo de recuperación.



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA REGIÓN

El valle de San Carlos se ubica a unos 42 km de la capital de provincia de Pinar del Río, es bien conocido, no solo por la belleza de su entorno típico en la Sierra de los Órganos, sino por ser uno de los mayores valles intramontano de la serranía (con cerca de 18 km<sup>2</sup>). Está totalmente rodeado por paquetes de rocas carbonatadas que conforman el relieve positivo de la región, predominando las formaciones Jagua (Jurásico superior, Oxfordiano), así como de las formaciones del grupo Viñales (Kimmeridiano-Tithoniano), y de las formaciones del grupo Cabezas (Cretácico superior- Paleógeno) entre otras litologías que integran los mogotes de las Sierras del Resolladero, de Pica-Pica, de Mesa, Pesquero y de San Carlos que delimitan el valle.



El acceso al polje se realiza solo a través de los conductos de galerías labradas por los arroyos y ríos en las rocas carbonatadas de las sierras circundantes, y por las abras de la Trinchera, al sur-este y el abra de Mal Paso al sur-oeste del valle. Los principales arroyos y río de transcurren el fondo del valle son: el río Cuyaguatete, y los arroyos tributarios al

mismo; arroyo de la Majagua, arroyo de Fuente, arroyo de la Trinchera, arroyo de Amadea, y arroyo de la Herrería (estos dos últimos tributarios del anterior).

Una característica típica de este valle, es la presencia del mogote de Junco, solitario y localizado casi en el centro-oeste del área de estudio, su altura es de 211 m sobre el nivel del mar, siendo el mogote de la Virgen en la sierra de Mesa con 463 m el punto culminante de la región, y la cota más baja, el manantial de Mal Paso, con 65 m sobre el nivel del mar. El fondo del polje es ondulado con altura que oscila entre 87 y los 65 m ya citado, dando origen a una red de drenaje superficial que modela o corta los sedimento de los depósitos poligénicos de las formaciones Pica-Pica y Ensenada Grande.

Los fenómenos cársico están bien representados en todas sus formas, ( se aprecian extensas zonas de, captación, absorción, conducción y descarga), tanto en el relieve positivo como en fondo del valle. En las elevaciones se define áreas de absorción en la superficie de los mogote tales como dolinas, hoyos de montaña, hoyos de terreno, sumideros, etc.

Estos mogotes están horadados por extensas redes de galerías labradas por la acción erosiva y modeladora de la red fluvial que circula por ellas, ampliando el intenso patrón de agrietamiento que presentan.

Los principales sistemas cavernarios que sirven de redes de conducción en pla región son :

-.En las Sierras del Resolladero y Pica Pica: el sistema de galerías de la Herrería, la cueva de Resolladero, cueva Oscura, cueva de los Agujereados, entre otras.



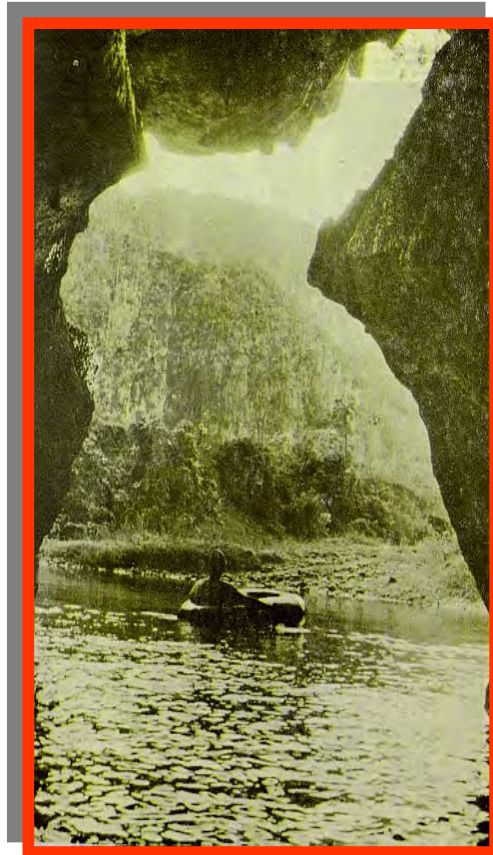


- En la Sierra de Mesa el Sistema Cavernario de Fuentes.
- En la Sierra del Pesquero: una red de galerías en profundidad que drenan en el manantial de Mal Paso.
- En la Sierra de San Carlos: el Sistema Cavernario Majagua – Canteras y el Sistema de Amadea.

Las zonas de descargas de los mogotes al valle puede ser libre como en el caso de la cueva del Resolladero del Río Cuyaguaje o del Arroyo Majagua, de conducción forzada como es los manantiales que afloran en el sector noroeste del valle y puede ser de circulación profunda, por debajo del nivel del valle, aprovechando los conductos y galerías semifosilizados formados en periodos en los cuales el nivel de base era más profundo antes de ser rellenados durante las oscilaciones del nivel del mar en los diferentes periodos de glaciaciones e interglaciales.

## **METODOLOGÍA Y DESARROLLO.**

Como se ha dicho en la introducción del trabajo tiene como objetivo principal: la confección de un esquema del impacto de las inundaciones sobre el valle durante intensas lluvias y/o por el cambio del nivel de base regional ante los cambios climáticos



Así como también la elaboración, en general, de una metodología de trabajo con algunos elementos o criterios de evaluación de la vulnerabilidad propias de las condiciones morfológicas del valle, todo lo cual implica una mejor protección de los recursos, naturales y económicos. En este trabajo se evaluarán factores naturales de la morfología, litología, suelos, carso, red de fluvial, (actual y pretérita)

**En particular, la metodología generales pueden precisarse en las siguientes tareas:**

Recopilación, validación y procesamiento de los datos básicos de la región de estudio desde el punto de vista morfológico de los niveles de terrazas fluviales actuales.

Argumentar técnicamente las condiciones hidrogeológicas vinculadas al efecto medio ambiental, en general, lo que permitirá en un futuro inmediato, tomar decisiones fundamentadas sobre el grado de riesgo y peligro inundación y también las medidas a tomar para la protección de recursos económicos en el área.

Dotar a las autoridades encargadas de la toma decisiones relacionadas con el uso económico del valle de un esquema regional con las áreas de afectaciones por niveles de





inundación y las vías de descarga del sistema hidrológico local que permita la planificación, regulación y manejo del valle acorde a las condiciones propias.

Faciliten la formación de un criterio local de la vulnerabilidad potencial para identificar áreas susceptibles a la inundación y para indicar el grado de interés relativo y esfuerzo necesario para una evaluación detallada.

El resultado final del trabajo debe corresponderse con estos objetivos, de manera que, en etapas inmediatas o posteriores:

En las últimas décadas se ha observado en muchos países un incremento en el interés por el estudio del paleo-relieve dado el creciente desarrollo socioeconómico y su efecto en el entorno medioambiental, desarrollándose diversos métodos y técnicas de evaluación regional y puntual de la morfología fluvial, con el objeto de elaborar esquemas de sensibilidad y vulnerabilidad del medio a las inundaciones, perímetro de zonas de protección, etc. En algunos países desarrollados, donde la información existente es abundante, la metodología puede llegar a ser tan simple que requiere solamente del análisis de datos cualitativos de las condiciones geomorfológicas y de las fuentes de carga y descarga de la red fluvial y de los sistemas cavernarios a ella asociados, para introducirlos con posterioridad a un sistema de información geográfica (SIG y aplicaciones de los variados métodos existentes). Sin embargo, cuando se carece de información suficiente, como generalmente ocurre con los países en vías de desarrollo, estos trabajos pueden llegar a ser complejos pues deben incluir, la exploración hidrogeológica y el levantamiento morfológico de la región de estudio, muestreos de los niveles de terrazas (tanto fluviales como lacustre), así como espesores de sedimentos que caracterizan antiguos planos de inundaciones.

Una vez obtenido los datos de los niveles de terrazas, se correlacionaron con los niveles de cavernamiento de los macizos que delimitan el valle, los que ya fueron correlacionado con anterioridad por E. Flores 1996 con los fluctuaciones del nivel del mar producto a las variaciones glacioeustáticas.

Para llevar a cabo estos objetivos se confecciono una red de cuadrícula que caracterizara todo el valle, con un sección de  $0,5 \text{ km}^2$ , con la cual se obtuvieron de la red topográfica regional a escala 1:25000 la base de los datos para la confección de los esquemas de paleo niveles de valle, red de drenaje actual y amplitud de la erosión en los sedimentos Cuaternario que rellena el valle. Otro elemento que se analizaron fue reconstrucción de paleo formas fluviales a partir de foto interpretación, la realización de varios perfiles campo para la verificación de lo resultados de gabinete.

## **Conclusiones**

El valle de San Carlos se comporta como una ubala con dos lóbulos intercomunicados por el cause del río Cuyaaguaje y dividido por el mogote de Junco y los relictos de un sistema de paleoterrazas lacustre.

Se definieron los paleo-sistemas de drenaje del valle, así como las áreas potenciales de inundación, siendo el lóbulo norte del valle el mas propenso a ser afectado, en particular la zona noroeste, donde el nivel de las aguas subterráneas afloran.

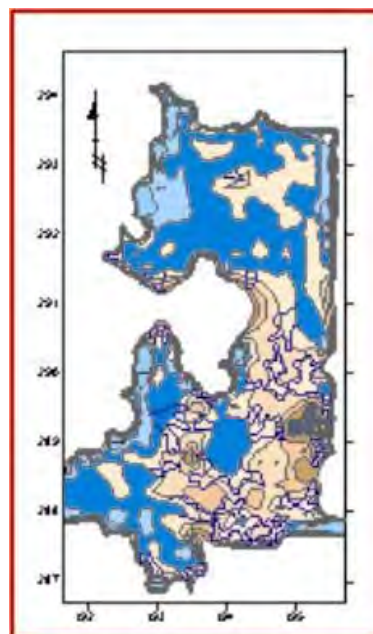


Se estudiaron los sistemas cavernarios que aportan su drenaje al valle y descarga de los mismos así como las posibles direcciones de la circulación de las aguas superficiales en el paleodrenaje.

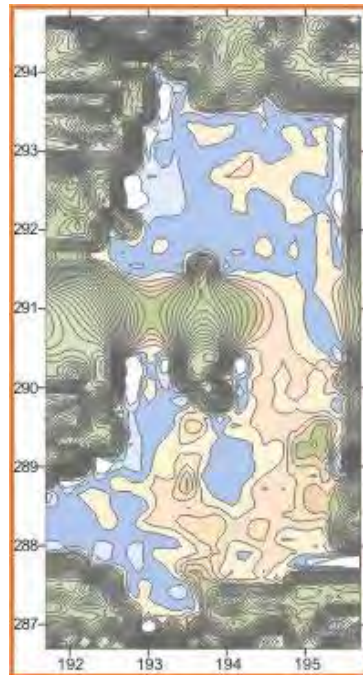
Se determinaron 4 niveles de terrazas fluviales en el valle, que correlacionan con los niveles de cavernamiento más bajos de los sistemas cavernarios que drenan convergentes al mismo, (Majaguas-Canteras, Herrería-Amadea, Fuente, Resolladero y la porción este del Pesquero). Se realizó la reconstrucción del paleodrenaje del valle, que dio como resultado el reconocimiento de 2 cuencas endorréicas con 2 redes fluviales independientes, de con edad aproximada del interglacial Yarmouth (correspondiendo a la terraza superior del polje).

En los esquemas se presentan los resultados obtenidos del análisis de algunas evidencias geomorfológicas, hidrológicas y cárnicas encontradas en el polje, mediante la aplicación de métodos geomorfológicos de levantamiento y análisis estadístico, conjuntamente con la correlación de los niveles de terrazas y/o cavernamiento con los niveles de fluctuaciones glacioeustáticos ocurridos en el Cuaternario.

Bloque de los Paleólogos del Valle de San Carlos



Representación del paleodrenaje interior del Valle de San Carlos.



Áreas de paleólogas del Valle de San Carlos, Sierra de los Órganos.

### **Bibliografía**

- Acevedo González, M y J.J. Valdés Ramos (1974) Introducción de métodos geomorfológicos e hidrogeológicos cuantitativos en la evaluación de sistemas cavernarios: aplicación al Sistema Cavernario Majagua-Canteras, Rev. Voluntad Hidráulica, No. 12, pp 29-39.
- Acevedo González, M y R. Gutiérrez Domech (1976) Sistema Cavernario Majagua-Canteras, Rev. Voluntad Hidráulica, No. 14, pp 18-29.
- Flores Valdés E. (1995) Niveles de cavernamiento y fluctuaciones glaciostáticas Cuaternarias de Cuba Occidental, Congreso LV Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba, pp 90-91
- Flores Valdés E. y L. Flores Valdés (1996) Influencia de las redes de fracturación en el desarrollo y estabilidad de las cavernas y túneles populares, XI Forum de Ciencia y Técnica, pp 1-23
- Molerio León, L.F: y E. Flores Valdés . (1996) Paleo clima y Paleo carso: los niveles de cavernamiento y la variabilidad del clima tropical en el Golfo de México y el Caribe, en manuscrito.
- Metz, K. (1963) Manual de Geología Tectónica, Ediciones Omega, Barcelona.



## LA EVOLUCIÓN DE LA INTRUSIÓN DEL AGUA DE MAR EN EL ACUÍFERO COSTERO DE GUANAHACABIBES, DE PINAR RÍO, CUBA,

**Rebeca Hernández Díaz**<sup>(1)</sup> **Julia Falb**<sup>(2)</sup> **Mario Lopez-Portilla**<sup>(3)</sup> **Patricia González Hernández**<sup>(4)</sup> **Iñaki Antigüedad Auzmendi**<sup>(5)</sup> **Raidel Toirac Proenza**<sup>(1)</sup>

(1) *Universidad de Pinar del Río, Calle Martí 270 Final. Pinar del Río, Cuba. 20100, E-mail [rebeca@geo.upr.edu.cu](mailto:rebeca@geo.upr.edu.cu)*

(2) *Institute of Geology, University of Mining and Technology Freiberg, Germany.*

(3) *Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Pinar del Río.*

(4) *Centro de Medicina Natural y Tradicional.*

(5) *Universidad del País Vasco.*

### RESUMEN

Una parte considerable de los acuíferos en el mundo se encuentran ubicados en las cuencas hidrográficas abiertas, donde existe un contacto del agua subterránea dulce con el agua de mar, estando presente el peligro latente de una intrusión marina (contaminación del acuífero de agua dulce con agua salada del mar) en el caso de una excesiva explotación del acuífero o fenómenos naturales. El fenómeno de la mezcla agua dulce-agua de mar, común en los acuíferos cársicos costeros, conocido como intrusión marina, se intensifica de forma natural, según el régimen de lluvia y las condiciones de recarga del acuífero o por la acción del hombre. La pérdida de la calidad de las aguas naturales en estos acuíferos influye negativamente en este fenómeno. Muchos de estos acuíferos son utilizados para proveer agua para consumo humano y agricultura, como sucede en la zona costera de la península de Gunahacabibes lo que obliga a conocer el proceso de intrusión marina y asegurar el aprovechamiento del recurso hídrico de dichos acuíferos. El presente trabajo tuvo como objetivos, analizar el avance de la **intrusión marina** en la región, monitoriar los factores contaminantes y aplicar los métodos geofísicos y de modelación hidrogeoquímica, al estudio de la **intrusión marina** para apreciar el comportamiento de este fenómeno en Gunahacabibes.

### ABSTRACT

A considerable part of the aquifers in the world is located in the basins open hidrográficas, where a contact of the sweet underground water exists with the sea water, being present the latent danger of a marine intrusion (contamination of the aquifer of sweet water with salted water of the sea) in the case of an excessive exploitation of the aquifer or natural phenomenons. The phenomenon of the mixture dilutes sea sweet-water, common in the aquifer coastal cársicos, acquaintance as marine intrusion, is intensified in a natural way, according to the rain régime and the conditions of recharge of the aquifer or for the man's action. The loss of the quality of the natural waters in these aquifers influences negatively in this phenomenon. Many of these aquifers are used to provide water for human consumption and agriculture, like it happens in the coastal area of the peninsula of Gunahacabibes what forces to know the process of marine intrusion and to assure the use of the resource hídrico of this aquifers. The present work had as objectives, to analyse the advance of the marine intrusion in the region, monitories the polluting factors and to apply the geophysical methods and of modulation hydrogeochemical, to the study of the **marine intrusion** to appreciate the behavior of this phenomenon in Gunahacabibes.



## INTRODUCCIÓN.

Las zonas costeras son lugares muy favorables para grandes asentamientos humanos, y para la ubicación de explotaciones agrarias intensivas y núcleos industriales. En estas zonas la necesidad de agua es alta, principalmente en época estival, y no suele cubrirse con abastecimiento superficiales por lo que, con frecuencia, se recurre a la extracción de agua subterránea.

Es frecuente que la planificación del desarrollo de estos sectores sea rápida, para lo cual se requiere un consumo de gran cantidad de agua en corto tiempo. Los bombeos estimados de agua subterránea son intensos y se infiere que, en muchas ocasiones, superan la recarga anual media estimada de los acuíferos. Esta situación hidrodinámica tiene graves repercusiones socio-económicas en zonas costeras, pues se traduce en un avance de la zona de mezcla agua dulce-agua de mar y de la cuña salina tierra adentro, con la progresiva salinización del agua subterránea, fenómeno conocido como **intrusión marina**.

Los estudios de control y seguimiento de la **intrusión marina** permiten obtener información sobre la evolución temporal y espacial de la salinidad de acuerdo con muestreos y determinaciones de forma periódica. Estos estudios tienen un criterio eminentemente práctico, que ofrecen una visión general, permitiendo solucionar problemas o aspectos concretos en la gestión de los recursos hídricos subterráneos.

En el presente trabajo se muestran los resultados de un estudio de control y seguimiento de la **intrusión marina** en la península de Guanahacabibes, aplicando técnicas hidrogeológicas y geofísicas, según la metodología de Herman Rosa, (2001), cuales reflejan la evolución de la **intrusión marina**, en la zona de estudio, en un período de tiempo comprendido entre los años 1997 hasta el 2004.

Este trabajo da continuidad a las diversas investigaciones realizadas en la región por la Universidad de Pinar del Río y el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Pinar del Río. La primera fase consistió en la caracterización y determinación de las cargas piezométricas dentro del contexto geológico y aprovechar los pozos donde se realizan las mediciones como sistemas abiertos que permiten visualizar el complejo sistema agua-roca (acuífero), para luego complementarlos con medidas de conductividad eléctrica, que representa una medida de la cantidad de minerales disueltos en el agua. Antigüedad, (1986), considera el quimismo de las aguas como un vector de información, una herramienta muy útil en el estudio indirecto de la hidrodinámica del carso.

Su interés radica, sobre todo, en el estudio de la evolución temporal del quimismo de las aguas, poniendo especial atención en la representatividad del muestreo, es decir en todas las fases hidrodinámicas.

Por otra parte, se prestó mucho interés al quimismo de las agua de lluvia en la región ya que éstas aportan la información química de entrada a los sistemas acuíferos y constituyen, por tanto, una referencia importante para interpretar el quimismo de las aguas de las surgencias, y para la evolución del carso operante en la península. Las prospecciones geofísicas ayudaron a identificar y a entender la estructura del subsuelo y la naturaleza de sus constituyentes, para corroborar los resultados y llegar a las mejores conclusiones y recomendaciones.



## Área de estudio

La cuenca hidrogeológica Guane, se encuentra ubicada geográficamente ocupando una parte de la península de Guanahacabibes, la zona más occidental de Cuba, en las siguientes coordenadas Lambert: 150 000, 220 000; 200 000, 220000; 200 000, 270 000; 150 000, 270 000 (Figura 1).

Geográficamente el sector de estudio abarca una extensión de 1253 km<sup>2</sup>, siendo sus límites los siguientes: al Norte, la cordillera de Guaniguanico; al Sur, el mar Caribe; al Oeste, el Golfo de México; al Este, el río Cuyaguaje.

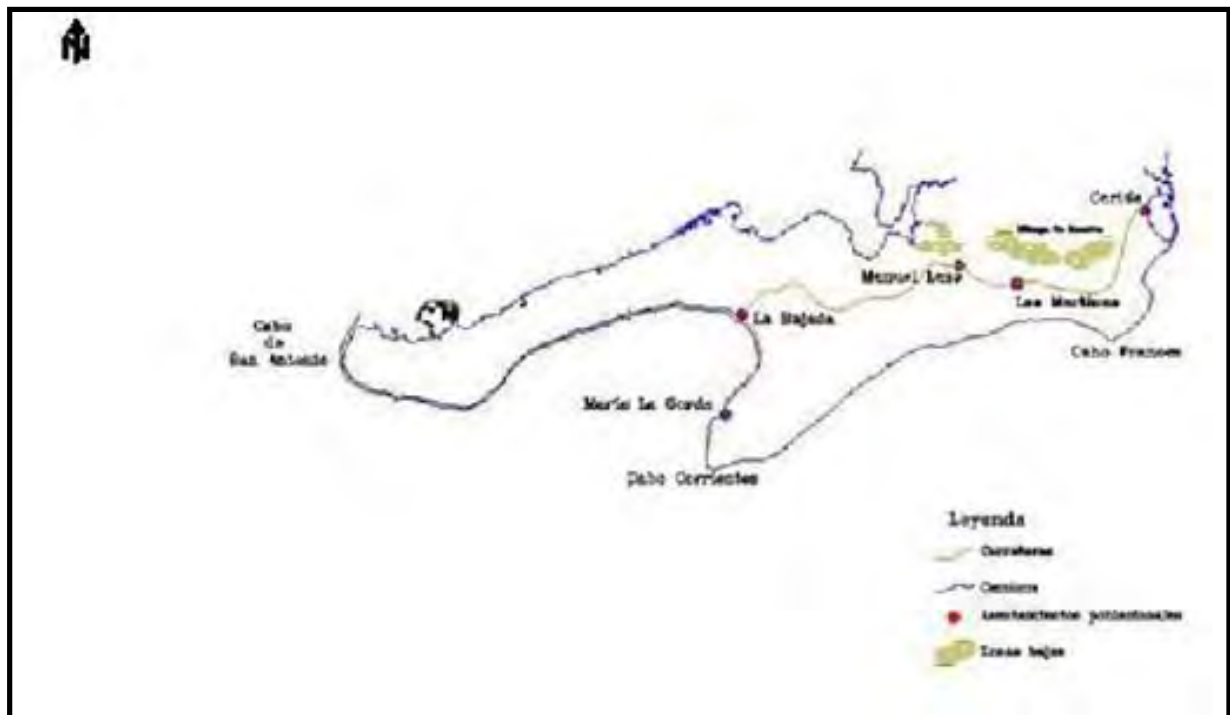


Figura 1. Esquema de ubicación de la zona de estudio.

La geología del área está determinada por dos clases de eventos naturales que se pueden definir como:

- a) Procesos tectónicos
- b) Procesos erosivos intensos

Los eventos tectónicos se han sucedido en forma alternada o simultáneamente con el segundo, dando lugar a la geología actual de la zona. (Figura 2.)



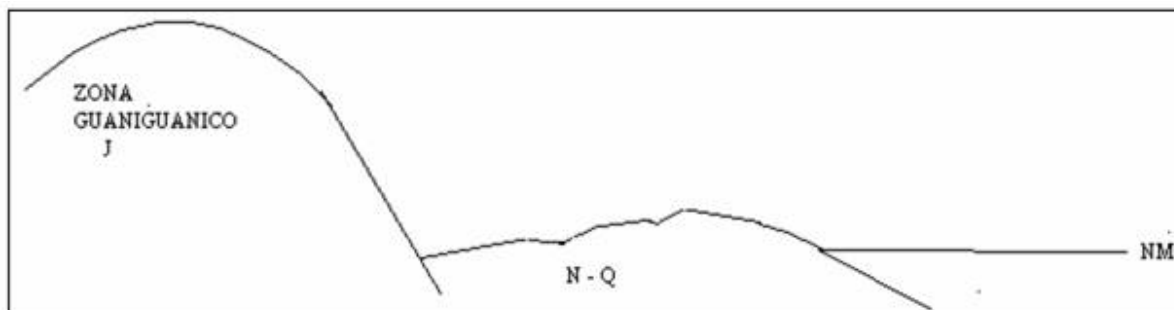


Figura 2. Evolución tectónica de Guanahacabibes (Plioceno-Actual).

La tectónica no presenta grandes complicaciones a partir de los sedimentos del oligoceno, López-Portilla, (1997). De acuerdo con este autor la región ha estado sometida a ligeros movimientos verticales. Esto puede aclarar el predominio en la zona de la estratificación horizontal de estos depósitos, la estructura tectónica preoligocénica es compleja, con mantos de sobrecorrimientos separado por estructuras disyuntivas, grandes pliegues isoclinales y un grado de agrietamiento elevado.

La cuenca Guane presenta tres subzonas geomorfológicas: la subzona montañosa Sierra de los Órganos, la subzona de la Llanura Sur y la subzona de emersión de la península de Guanahacabibes. La subzona montañosa, representada por la cordillera de Guaniguanico, es cortada por la falla Pinar. Es posible delimitar a la península como un territorio que se extiende desde el Cabo de San Antonio hasta el límite del contacto entre los sedimentos del Neógeno con los del Jurásico, destacándose: la llanura abrasiva cársica, la llanura acumulativa cársica y, por último, las llanuras pantanosas costeras (Figura 3).

En el territorio, afloran las formaciones geológicas siguientes (Álvarez, 1991), Guane, Vedado, Jaimanita y Cayo Piedra todas de edad muy joven, del Neógeno- Cuaternario o del Cuaternario. Los depósitos palustre y de manglar se encuentran fundamentalmente localizados en la franja de la costa norte y en algunos puntos en el interior como es la ciénaga de lo Remates, la cual controla el régimen de flujo de las aguas subterráneas en la porción nor-este del acuífero. Aquí ocurre una descarga parcial del acuífero Hernández D. R (1997). Desde el punto de vista litológico existe una homogeneidad en la región, las son carbonatadas sin muchas diferencias entre si, no ocurriendo así con la Formación Guane, que tiene características diferentes en cuanto a su litología y es el impermeable del acuífero.

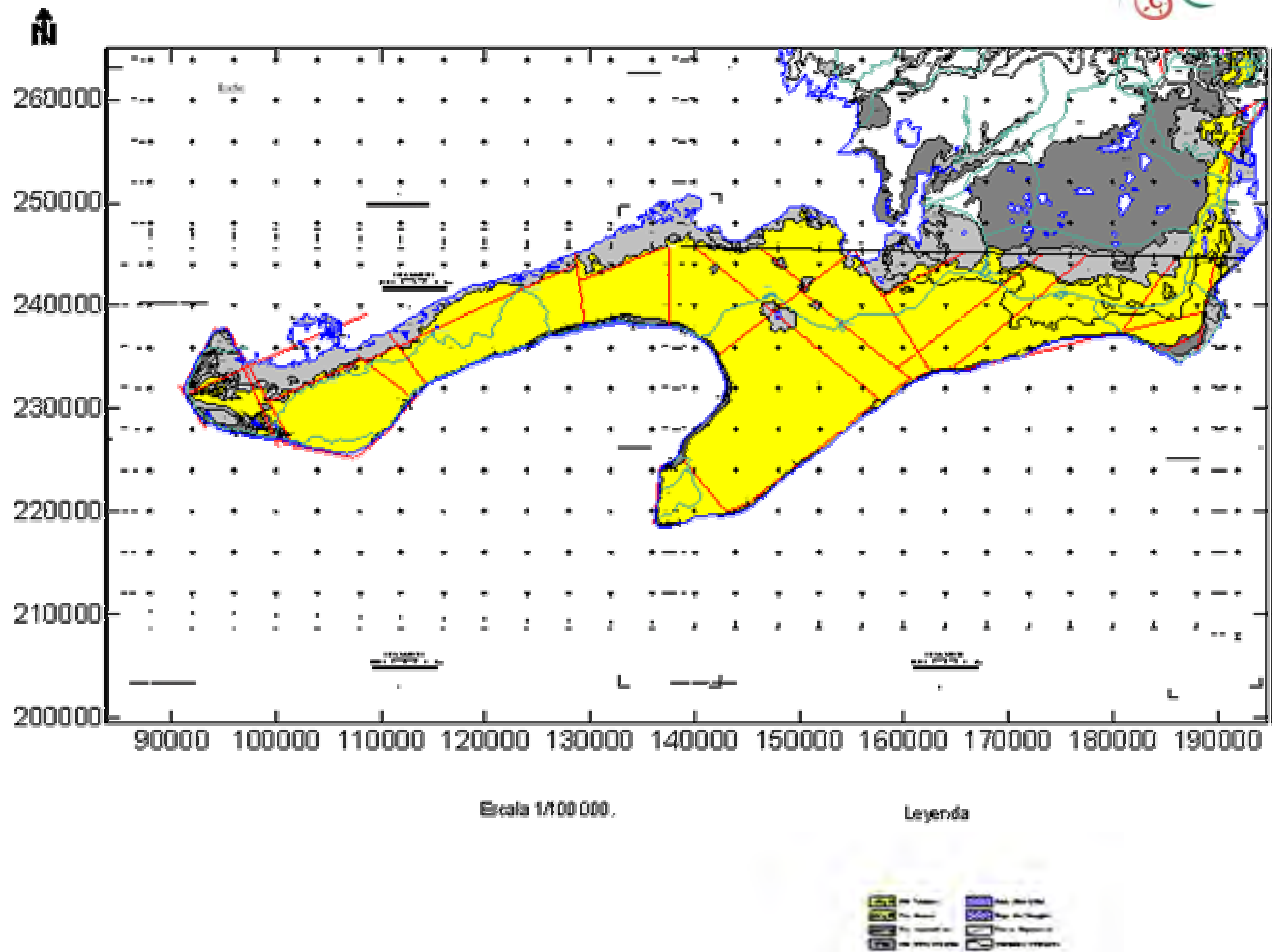


Figura. 3 Mapa Geológico, Formación Vedado, materiales de buena permeabilidad, Formación Guane, materiales de baja permeabilidad, Formación Jaimanita permeabilidad intermedia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio toma como base el esquema metodológico de Herman Rosa, 2001 (Figura. 4), donde el principal objetivo fue el análisis de la evolución de la **intrusión marina** y posición de la cuña de agua salada en el acuífero Guane, en un período de tiempo comprendido desde 1997 hasta el 2004. En el mismo se aplicaron técnicas hidrogeológicas y geofísicas Falb (2004), combinadas con la modelación hidrogeoquímica (PhreeqC 2.80 (Merkel y Planerfriedrich2002)).

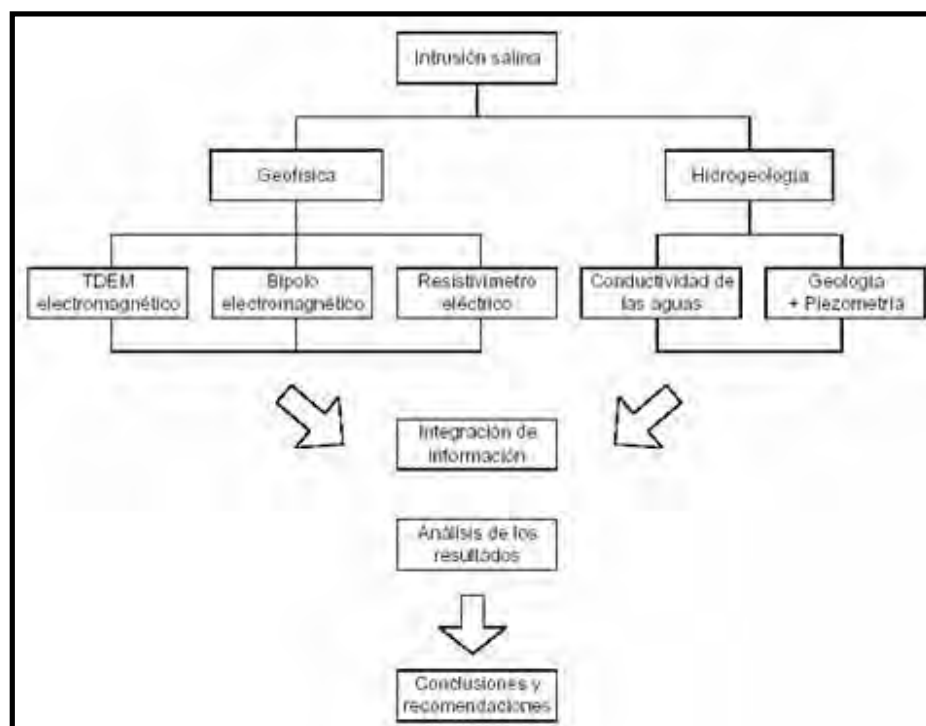


Figura 4. Representación del esquema de aplicación de técnicas hidrogeológicas y geofísicas

El análisis de la evolución de las aguas, partió de los estudios realizados en la región por la Universidad de Pinar del Río y el INRH de Pinar del Río en colaboración con la Universidad del País Vasco y la Universidad de Mina y Tecnología Freiberg Alemania. Fueron medidos en el campo: temperatura, pH, conductividad eléctrica, potencial redox y oxígeno disuelto, mediante equipos portátiles, y determinados los contenidos de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S mediante técnicas analíticas estándar (APHA-AWWA-WPCF, 1992). Los macroconstituyentes también fueron analizados aplicando las referidas técnicas estándar, mientras que los microconstituyentes se determinaron por ICP- MASAS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Hidrogeológicamente, las únicas recargas a considerar para este acuífero son a partir de las precipitaciones, y del complejo de lagunas existente en el área. La pluviosidad media anual en esta cuenca es de 1 435.6 mm y la evaporación desde el espejo de agua es de 1 512 mm. Las temperaturas medias mensuales varían entre 22.7 °C y 27.5 °C, registrándose las máximas anuales de 34.6 °C y las mínimas de 6 °C (fuente INRH). El flujo subterráneo, tiene una dirección predominante hacia el mar con gradientes pequeños. López Portilla (1999) destaca que en las calas 1, 2, 12: ocurre la inversión de los gradientes. Esto se puede explicar en primer lugar porque el lente de agua dulce de toda el área es bastante variable y va a depender de los valores de difusividad y dispersividad, que dependen de la litología del acuífero. Los gradientes hidráulicos, obtenidos como resultado del presente trabajo, oscilan  $1 \cdot 10^{-5}$  hasta  $3 \cdot 10^{-3}$ . Estos valores más elevados corresponden con la parte sur, donde el acuífero se comporta como libre, abierto al mar, lo que denota el efecto de las mareas.

Los registros de conductividad eléctrica obtenidos en diferentes puntos de la zona en estudio, presentan un comportamiento variable (Figura 5). En las áreas cercanas a la ciénega de los Remates y en el pozo RGB-115, lejos de la costa, se obtienen valores bajos de conductividad, lo cual indica la presencia de agua dulce. Por otra parte, en el pozo RGB-29, situado, aproximadamente a 8 km de la costa, se observa un rápido incremento de conductividad sin llegar a valores alarmante, como consecuencia de la entrada de las mareas y de la mezcla de agua dulce de la ciénega y agua del mar. Pozos artesanales, más cercanos a la costa, reportaron altos valores de conductividad eléctrica, mostrando una mayor influencia del ingreso de agua de mar través de los sistemas de cavernamiento o de agrietamientos.

### Mapa de Conductividades Guanahacabibes 2004

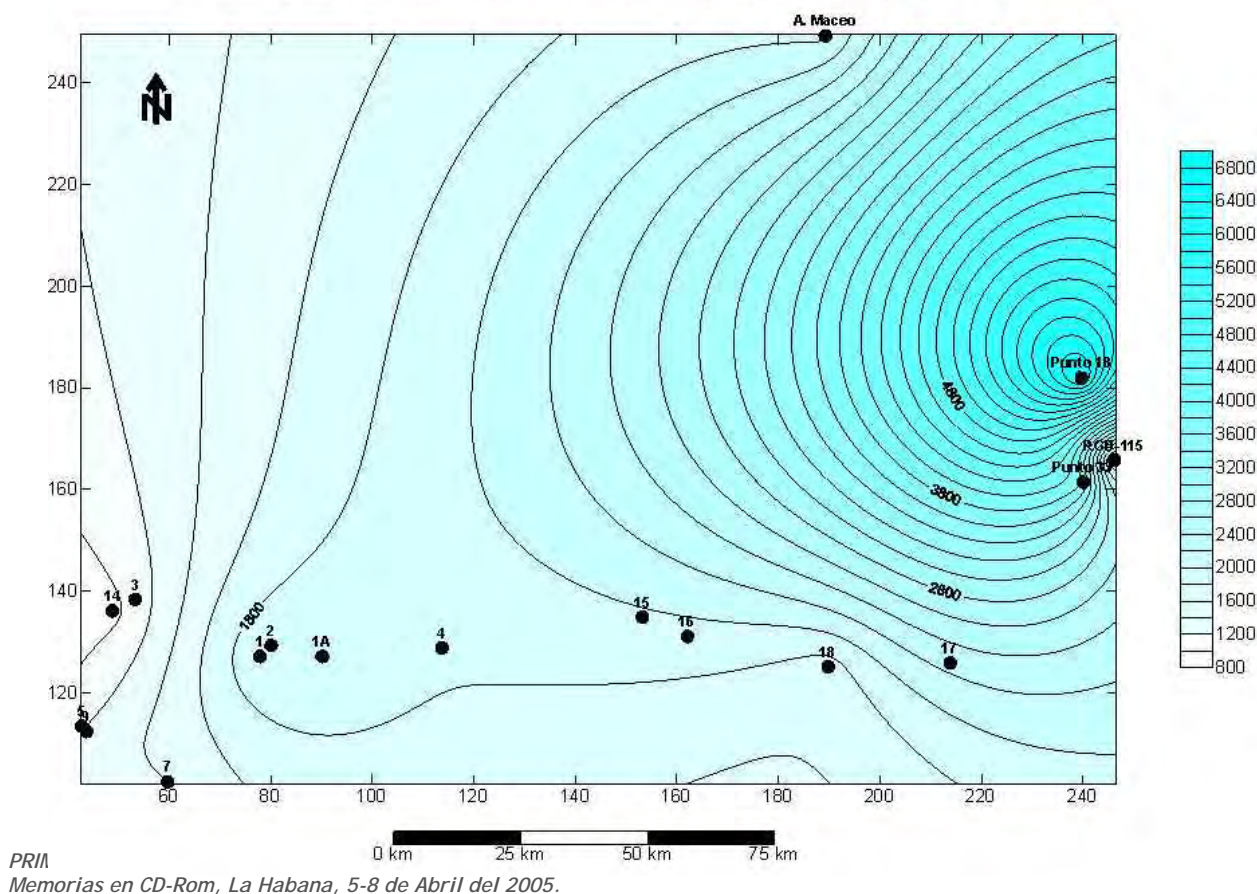




Figura. 5 Mapa de isoconductividades de Guanahacabibes 2004.

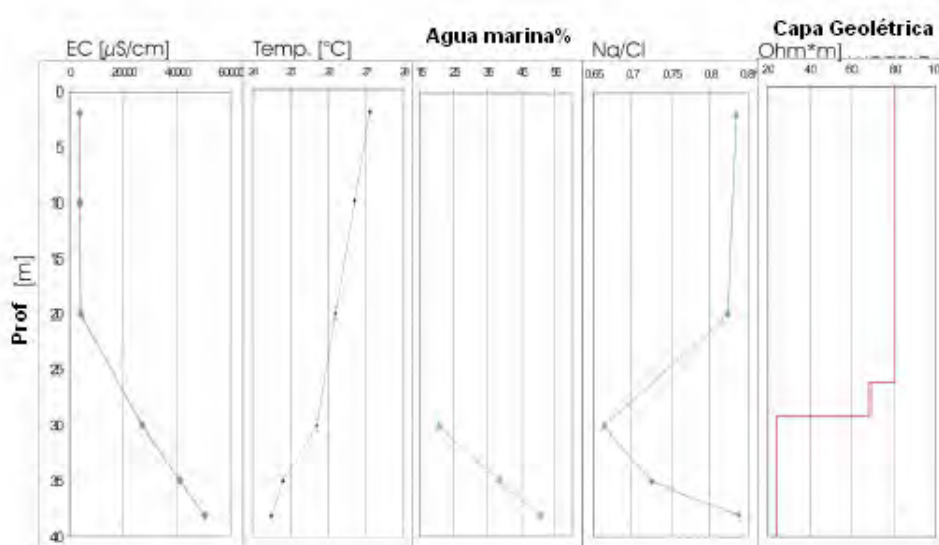
Los resultados de la modelación hidrogeoquímica inversa de la mezcla agua dulce-agua de mar, haciendo uso del programa de computación PhreeqC (Versión 2.6 UGS), se presenta en las tablas I, II y III, para los pozos 33, 18 y RGB-115 a diferentes profundidades.



Tabla I Resultado del modelo hidrogeoquímico inverso para el pozo 33.

Prof(m)	Numero de modelo	Agua de mar %	Agua dulce%
30	1	20.73	79.31
35	1	38.71	61.29
38	1	50.31	40.19

Los resultados, del pozo 33 muestran un contenido del agua de mar de 20. 73 a 50.31%, en 8 m de distancia en la vertical. Por lo tanto, las profundidades modeladas entre 30 y 38 m es donde se encuentra las zonas de mezcla agua dulce –agua de mar.



La Figura. 6. Relación de la Conductividad Eléctrica referida a 25<sup>0</sup>C (C.E), % de agua de mar, relación Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup> y las capas geolétricas, con la profundidad en el Pozo 33.

Después de los 20 m de profundidad, se produce un incremento de la C. E, y una disminución de las temperaturas, cosa inusual, pues la temperatura debían aumentar con la profundidad por el efecto del gradiente geotérmico, esto puede estar relacionado por un lente de agua salada proveniente del océano con temperaturas mas frías que se mezcla en el acuífero. Estas temperaturas mas frías pueden ser una evidencia de que, el cuerpo de agua salada se encuentre por debajo de la profundidad de 30 m. El incremento del % del agua marina y el incremento de la relación Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup> (0.848) invalida estas aguas para el riego y el consumo humano. El modelo de capas geolétricas, es de tres capas, después de los 30 m disminuye considerablemente la resistividad. Todo esto puede estar relacionado con los procesos de **intrusión marina** que están ocurriendo en la zona que no solo están relacionados con las variaciones de los niveles del acuífero si no también por los procesos cársticos que ocurren en la región. Las mediciones reportadas por Hernández Díaz (2000), mostraban valores de conductividad en el orden 3 200 μS/cm y en el 2004 los valores hacienden a 3 820 μS/cm. Esto es indicio de un progreso de la **intrusión marina**.





Tabla III. Resultado de la modelación Hidrogeoquímica Inversa para el Pozo 18

Prof(m)	Número de modelo	Agua de mar %	Agua dulce %
5	2	3.2-3.6	96.9-96.4
35	2	57.8-53.7	46.2-46.3
40	2	97.50	2.50

En la zona del pozo 18, parece como si ha los 35 m existiera una zona fracturada ocupada por una mezcla entre un 57.8-53.7 % de agua de mar y un 46.2-46.3 % de agua dulce, esto se justifica por las variaciones brusca de la conductividades y las temperaturas ver (Figura 7), en el momento de la toma de muestra no se había alcanzado el equilibrio,

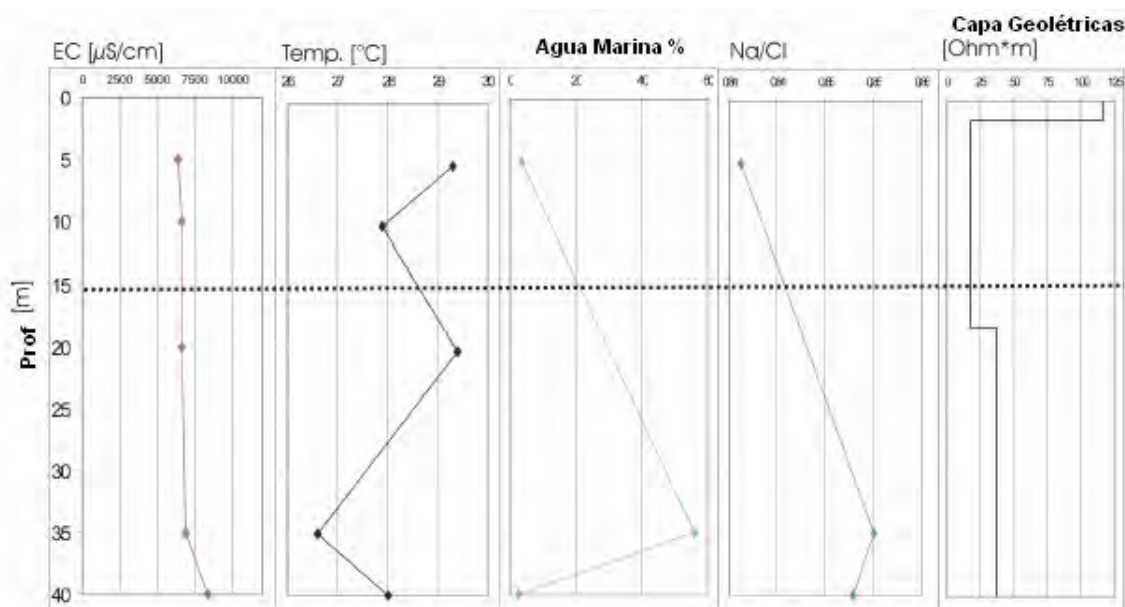


Figura. 7 Relación de la Conductividad Eléctrica referida a 25°C (C.E), % de agua de mar, relación  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  y las capas geolétricas, con la profundidad en el Pozo 18.

En la (Figura 7), podemos apreciar que en el pozo 18 después de los 35 m y hasta los 40 m la conductividad aumenta y alcanza valores de 6 680  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y tiende a ir creciendo con la profundidad. La curva de la temperatura tiene un comportamiento anómalo, después de los 21 m tiende a disminuir y su valor más bajo lo tiene a los 35 m, donde comienza a crecer, ahora si vemos el gráfico del % de agua de mar este crece desde los 5 m que tiene un 3 % hasta los 35 m que alcanza valores de 57, 8 % y de los 35 m hasta los 40 m tiene una nueva disminución. En cuanto a la relación  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  tiene un comportamiento muy similar al % de agua marina y alcanza valores iguales o similares al agua de mar. Los modelos geolétricos muestran una curva del tipo H, de tres capas.



Tabla IV. Resultado de la modelación Hidrogeoquímica Inversa para el pozo RGB-115

Prof(m)	Numero de modelo	Agua de mar %	Agua dulce %
10	2	4.04-4.14	95.97-95.87
12	2	1.19-0	98.06-100

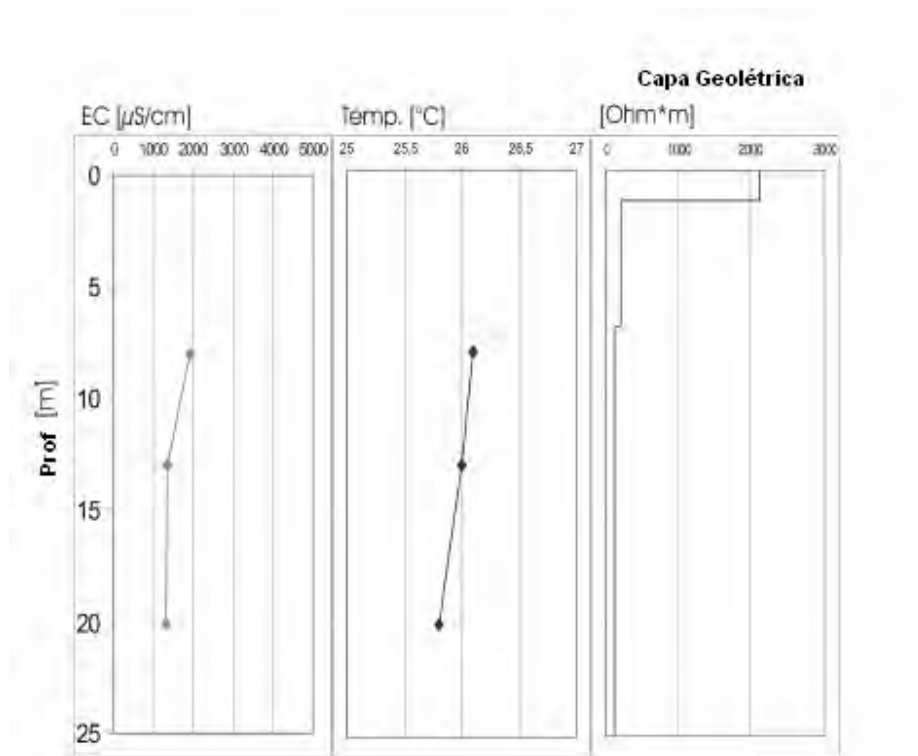


Figura 8 Relación de la Conductividad Eléctrica referida a 25°C (C.E), % de agua de mar, relación  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  y las capas geoléticas, con la profundidad en el RGB-115.

El pozo RGB-115 es el que, en el área de estudio tiene valores de conductividad relativamente mas bajo 1900 –1980  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La conductividad decrece con la profundidad, la curva de temperatura decrece ligeramente con la profundidad. Esto puede ser por que a 20 m de profundidad ya la luz del sol no tiene incidencia. El modelo geoelectrico muestra valores de  $123\Omega\cdot\text{m}$ .



## CONCLUSIONES.

1. En la zona de Uvero Quemado, la Bajada y el Cabo de San Antonio el acuífero se comporta como libre abierto al mar, el agua dulce se sitúa en forma de lente sobre el agua salada existiendo un equilibrio entre ambas, que puede ser alterado por el régimen de lluvia.
2. En los sectores cercanos a la costa se produce la inversión de flujo provocado por las mareas.
3. Los modelos geoeléctricos confirman, un cambio en la mineralización de las aguas figuras 6,7 y 8 a las profundidades 29,5 m, 18 m y 12 m.
4. Los procesos de **intrusión marina** que ocurren en Gunahacabibes no solo están relacionados por la explotación del acuífero, si no que también los fenómenos cársticos están acelerando la penetración del agua salada en el acuífero.
5. En la zona del pozo RGB-115, las aguas tienen todos los parámetros óptimo para el consumo humano en esta área aun la **intrusión marina** no ha llegado.



## BIBLIOGRAFÍA.

- Álvarez F. (1991). *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Biblioteca del Instituto Nacional de Geología y Paleontología. La Habana, Cuba. 672pp.
- Antigüedad, I (1986). *Estudio hidrogeológico de la cuenca del Nervión –Ibaizabal*: Tesis doctoral 338pp.
- Apha, Awwa, Wpcf., (1989). *Standard methods for the Examination of Water and Waste Water*. 15 th edic. Am. Publ. Healt Assoc.-Am. Water Works Assoc.-Polut. Control Fed. New York.
- Falb. J.(2004) *Seawater intrusion into the neogenicquaternary aquifer of Guanahacabibes, Pinar del Río, Cuba* 61pp
- Herman Rosa,(2001). *Estudio de la Intrusión de Aguas Salinas en la Zona Costera de la Bahía de Jiquilisco* 27pp
- Hernández R, (1997). *Caracterización Hidrodinámica e Hidroquímica del Acuífero Neógeno-Cuaternario de Cuenca Guane*. Tesis de Maestría ISPJE. 100pp
- Hernández R, (2000). *Caracterización de la salinidad del acuífero Neógeno-Cuaternario de Guane*. Tesis Doctoral. 250pp.
- López Portilla, Guerra Pereira González Brito. (1999) *Investigaciones hidrogeológicas realizada para el abasto de agua al poblado de la Bajada península de Guanahacabibes*. 36pp
- Merkel b. j. & Planer-Friedrich B. (2002): *Grundwasserchemie- Praxixorientierter Leitfaden zur numerischen Modellierung von Beschaffeneit, Kontamination und Sanierung aquatischer Systeme*, -Springer-Verlag Berlin, 219 pp.



## LA EVOLUCIÓN DE LA INTRUSIÓN DEL AGUA DE MAR EN EL ACUÍFERO COSTERO DE GUANAHACABIBES, DE PINAR RÍO, CUBA

Rebeca Hernandez Diaz<sup>(1)</sup> Julia Falb<sup>(2)</sup> Mario Lopez-Portilla<sup>(3)</sup> Raidel Toirac Proenza<sup>(1)</sup>

(1) *Universidad de Pinar del Río, Calle Marti 270 Final. Pinar del Río, Cuba. 20100, E-mail [rebeca@geo.upr.edu.cu](mailto:rebeca@geo.upr.edu.cu)*

(2) *Institute of Geology, University of Mining and Technology Freiberg, Germany.*

(3) *Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Pinar del Río.*

El acuífero costero de Guanahacabibes presenta una alta transmisividad esto es debido a que la mayor parte de las rocas que conforma el acuífero son del tipo carbonatada y los procesos, hidrogeoquímicos que se producen en la zona de mezcla agua dulce agua salada en función del tiempo mostró que en ocasiones las aguas estaban subsaturada, y disolvían calcita y otras en las cuales estaban sobresaturada y ocurría la precipitación de los carbonatos cálcicos, esto esta originando una intensa carsificación, en la región y los conductos así formados por esta vía, son el camino preferencial de la circulación del flujo subterráneo en la zona y por consiguiente el mayor volumen de la intrusión del agua del mar ocurre por estos conductos. En este trabajo se presenta los resultados de los estudios de un modelo de proporciones de mezclado de sal en el agua dulce a partir PhreeqC, con el objetivo de ver si las muestras fueron tomadas en la cuña de agua marina en la zona de mezcla o en el agua dulce. También se presentan la interpretación de varios sondeos eléctricos (SEV), que indican que en zonas cercanas al pozo 18 y 33 la resistividad ( $\rho$ ) es muy baja y por consiguiente las concentraciones de sales son más elevadas confirmando los resultados hidrogeoquímicos.



## APLICACIÓN SIG PARA EL ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LOS ACUÍFEROS CUBANOS

Rosa María Valcarce Ortega, Willy Rodríguez Miranda

*Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Calle 114 entre 119 y 127, Marianao, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: [rosy@tesla.cujae.edu.cu](mailto:rosy@tesla.cujae.edu.cu) : [willy@civil.cujae.edu.cu](mailto:willy@civil.cujae.edu.cu)*

La cartografía de vulnerabilidad de acuíferos, es una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de las aguas subterráneas. Ella posibilita diferenciar las características naturales del terreno para proteger al acuífero de la acción de múltiples contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie, asociados a fenómenos naturales o a la actividad del hombre.

*En regiones tropicales, las aguas subterráneas ocupan un papel fundamental en el abasto a la población, a la agricultura y la industria. Particularmente en Cuba estos recursos presentan singular importancia y se encuentran desarrollados en acuíferos carbonatados cársicos de extremadamente alta vulnerabilidad a impactos naturales y antropogénicos.*

El trabajo que se presenta evalúa la vulnerabilidad natural de los acuíferos cubanos a través de una nueva metodología que calcula un índice de vulnerabilidad que ha sido denominado **PATHS**. Este índice es obtenido a partir del análisis de: **P**recipitaciones, Medio **A**cuífero (Profundidad del Nivel Freático, Litología del acuífero), **T**opografía (Pendiente del terreno), Resistividad **H**idráulica del **S**uelo. Toda la información fue procesada empleando un Sistema de Información Geográfico y como resultado final se ha obtenido un Mapa de Vulnerabilidad para los acuíferos de Cuba a escala 1:250 000, que constituye punto de partida para:

- ✓ decidir sobre investigaciones y redes de monitoreo a escalas más detalladas.
- ✓ dictar políticas de control a las actividades agrícolas, industriales y urbanas.
- ✓ evaluar el peligro de contaminación de las aguas subterráneas.





## CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES PRODUCTO DEL MAL MANEJO DE LOS RESIDUALES

**Ing. Amarilis Núñez Silva<sup>(1)</sup> , Ing. José A. Ramírez López<sup>(1)</sup>**

(1) Empresa Geominera Oriente. Carretera de Siboney Km 2 ½ Altura de San Juan Santiago de Cuba. Cuba. .Email: anunez@geominera.co.cu.

### RESUMEN

El agua es el disolvente universal, el medio en el que se desarrolla todos los procesos vitales y unos de los recursos naturales más abundantes. A pesar de ellos, la disponibilidad de agua para ser frente a la demanda de uso impuesta por la sociedad actual es cada vez más limitada. Una de las principales causas limitadoras del uso es el creciente deterioro de su calidad. La contaminación de aguas superficiales y subterráneas debido al desarrollo industrial y el aumento de la población es un grave problema mundial que requiere de soluciones urgentes. Lo que ha motivado gran preocupación en un importante número de países y que ha conducido a una mayor legislación al respecto, es el problema derivado de la alteración de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas originados por vertidos industriales, urbanos, agrícolas y otros. Los riesgos existentes, lo son tanto para la salud como para determinados procesos industriales. Dada la gran importancia del agua recurso fundamental para cualquier comunidad, cada vez mas escasa, la recuperación económica de este **Riesgo Inducido**, es cada día mas importante. El objetivo que persiguió este trabajo fue demostrar como estos residuales sin tratamiento están afectando las fuentes hídricas superficiales fundamentalmente, por lo queda demostrado la necesidad de que todos los residuales deben ser caracterizados y tratados antes de ser vertidos a dichas fuentes, o darle otro tipo de utilidad, así como establecer las adecuadas medidas correctoras para proteger la calidad de las mismas .

### ABSTRACT

The water is the universal solvent, the means in the one that is developed all the vital processes and some of the most abundant natural resources. In spite of them, the readiness of water to be in front of the use demand imposed by the current society is more and more limited. One of the main causes constraining the use it is the growing deterioration of their quality. The contamination of superficial and underground waters due to the industrial development and the population's increases is a serious world problem that requires of urgent solutions. What has motivated great concern in an important number of countries and that it has driven to a bigger legislation in this respect, it is the derived problem of the alteration of the quality of the superficial and underground waters originated had poured industrial, urban, agricultural and others. The existent risks, are it as much for the health as for certain industrial processes. Given the great importance of the water fundamental resource for any community, every time but scarce, the economic recovery of this Induced Risk, is every day but important. The objective that pursued this work was to demonstrate as these residual ones without treatment they are affecting the sources superficial hídricas fundamentally, for it is demonstrated it the necessity that all the residual ones should be characterized and treated before being poured to this sources, or to give him another type of utility, as well as to establish the appropriate measured proofreaders to protect the quality of the same ones.



## INTRODUCCION

Este trabajo tiene como objetivo fundamental demostrar como el mal manejo de los residuales puede contaminar las aguas superficiales de un territorio (ríos, presas u otras fuentes hídricas), así como valorar los residuales de todas las fuentes y focos de contaminación que puedan afectar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de consumo humano.

## MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo nos basamos fundamentalmente en la revisión de bibliografías, normas y metodologías, así como fotos de aquellas fuentes contaminadas no controladas y en la mayoría de los casos sin una caracterización de sus contaminantes. Todas estas fuentes emisoras de residual, que son vertido sin control hacia diferentes fuentes hídricas, afecta los parámetros de calidad de las mismas, y la convierte en agua con un uso limitado, las cuales hay que someterla a diferentes tratamientos por lo general muy caros, y en el peor de los casos son usadas sin tratar pudiendo causar enfermedades. En otros casos se convierten en fuentes hídricas completamente contaminada sin uso ninguno solamente como reservorio de diferentes vectores trasmisores.

Ejemplo de algunas fuentes de contaminación:

Residuales Porcino, Residuales de Vaquerías, Vertimiento de residuales directo al río, Residuales Industriales, Basureros etc.



Foto No. 1: Residuales Industriales



Foto No.2: Vertimiento directo



Foto No. 3: Residual de vaquería



Foto No.4: Residuales Porcino

En la siguiente tabla reflejamos los resultados de diferentes residuales sin tratamiento, que al ser comparado con los parámetros de varias normas, se nota altos niveles de contaminación que los mismos presentan.

Tabla No.I: Muestras de residuales sin tratamiento.

Normas	PH (u)	Cond (ms/cm)	DQO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Col.Total (Nmp/100ml)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	S.Sed.
H <sub>2</sub> O Potable	6.5 – 8.5	-	< 4	10	<3	Auset	-
Vert.Alcantarillado	6 –9	<4000	<700	<300			<10
Río, Embalse(A)	6.5 – 8.5	1400		30	1000	5	1
H <sub>2</sub> O Ecológicamente	6.5 – 8.5	<800	-	< 5	1000	<0.2	-
M – 1 (P0)	8	1700	4284	725	11.1X10 <sup>8</sup>	-	-
M – 2 (C)	7.4	1600	281	84	2400	23.14	1341
M – 3 (L)	7.5	600	140	47	2400	5.45	1000
M – 4 (A)	7.9	200	16	6	940	<0.05	300

En la tabla No.II se reflejan los resultados de diferentes fuentes hídricas muestreadas, observándose como algunos parámetros presentan alta contaminación.



Tabla No.II. Muestras de fuentes hídricas afectadas por algunos residuales.

Mtras	PH (u)	OD (mg/l)	DQO (mg/l)	Cl (mg/l)	Col.Total (Nmp/100ml)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	S.Sed. (ms/c)	Cond (ms/cm)	Tbidez (ntu)	Fte hídrica
M – 1	7.59	-	4	81.20	9200	0.08	10	692	5	Río
M – 2	7.89	4.2	23	66.66	2300	<0.05	3.6	520	8.0	Río
M – 3	7.51	-	4	97.87	430000	0.4	5	769	13	Embals e
M – 4	8.49	-	5	9.21	9200	<0.05	2.15	250	-	Río
M – 5	8.12	-	5	20.6	2200	<0.05	20	300	11	Río

Nota: Los parámetros coloreados indican altos niveles de contaminación

## CONCLUSIONES

- 1) Los diferentes tipos de residuales mostrados presentan un alto nivel de contaminación
- 2) Las fuentes hídricas muestreadas están afectadas por estos residuales, siendo el parámetro bacteriológico el mas afectado.

## BIBLIOGRAFÍA

NC93 – 02/85 Agua Potable. Requisitos Sanitarios y Muestreo.

NC.27/99 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y alcantarillado. Especificaciones

NC93 – 02/85 Agua Potable. Requisitos Sanitarios y Muestreo.



## **CRITERIOS DE EXPLORACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN ROCAS DURAS. CASO DE ESTUDIO EN LA REGIÓN DE TSHITALE, SUDÁFRICA**

Fermín Ernesto Sarduy Quintanilla

*Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara, INRH*

La literatura especializada recoge diversos métodos de estudio para las exploraciones hidrogeológicas en zonas de rocas duras con gran complejidad geológica, cuyas aplicaciones tienen, necesariamente un vínculo bien estrecho con los criterios de búsquedas.

Cuando los criterios son erróneos los resultados finales de la exploración no son satisfactorios, independiente de la metodología aplicada. Si por el contrario, el criterio de búsqueda o exploración es correcto pero la metodología no responde a dichos criterios, los resultados serán también negativos. Por lo tanto, dada la complejidad del escenario hidrogeológico de las rocas duras debe existir una estrecha correspondencia entre los criterios de búsqueda y la metodología.

En este caso de estudio, el criterio de búsqueda estuvo encaminado a la localización de estructuras tectónicas relacionadas directamente con la zona acuífera, para lo cual la aplicación de los métodos geomorfológicos y la interpretación de fotos aéreas son indispensables para obtener resultados exitosos. La posterior aplicación de los métodos geofísicos tradicionales y la perforación, como métodos directos, complementan la exploración.

La utilización de una metodología que se basa en las aproximaciones sucesivas con la aplicación de métodos geomorfológicos e interpretación de fotos aéreas que permitieron la localización de áreas perspectivas para el desarrollo de las aguas subterráneas, y la aplicación de un correcto criterio de búsqueda para la identificación de las zonas de fracturación directamente relacionadas con los principales acuíferos, marcaron la diferencia entre los resultados de las exploraciones anteriores (durante más de 15 años) y el presente estudio, que tuvo como objetivo principal la valoración de los recursos de las aguas subterráneas en la región de Tshitale, Sudáfrica.



## CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE FLUJO LOCAL-REGIONAL DE LA SIERRA DEL ROSARIO (CUBA) MEDIANTE MODELOS HIDROGEOQUÍMICOS

Juan Reynerio Fagundo<sup>1</sup>, Patricia González Hernández<sup>1</sup>, Joel Carrillo-Rivera<sup>2</sup>, Iñaki Antigüedad Auzmendi<sup>3</sup>, Roberto Peláez García<sup>4</sup>, Margaret Suárez Muñoz<sup>1</sup>, Clara Melián Rodríguez<sup>1</sup>, Rebeca Hernández Díaz<sup>5</sup> y Dámaso Cáceres<sup>5</sup>

1. Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional". (Cuba): [juanrfag@infomed.sld.cu](mailto:juanrfag@infomed.sld.cu);  
2. Instituto de Geografía UNAM (México): [cigaihsud@mx.inter.net](mailto:cigaihsud@mx.inter.net); 3. Universidad del País Vasco (España): [gopanaui@lg.ehu.es](mailto:gopanaui@lg.ehu.es); 4. Empresa GEOMINERA, Pinar del Río (Cuba).  
5. Universidad de Pinar del Río (Cuba): [rebeca@geo.upr.edu.cu](mailto:rebeca@geo.upr.edu.cu);

### RESUMEN

En el presente trabajo se presentan los resultados de la caracterización hidroquímica de muestras de aguas tomadas de manera sistemática en diferentes sitios de la Sierra del Rosario desde 1984 hasta el 2002, así como a partir de datos tomados de un informe geológico, correspondientes a flujos de diferente naturaleza hidrogeológica que drenan rocas carbonatadas, silicatos ácidos y rocas ultrabásicas con edades que van desde el Paleógeno hasta el Jurásico.

Los datos fueron procesados mediante modelos estadísticos e hidrogeoquímicos, basados en los últimos en los principios del equilibrio químico. Aplicando estos modelos se establecen 7 líneas de flujo o de evolución química de las aguas a partir de las precipitaciones.

Se demuestra que las propiedades químico-físicas de estas aguas dependen de las interacciones agua-roca durante el tiempo de contacto que media desde la infiltración hasta su emergencia y de la constitución de los materiales acuíferos que drenan, y que es posible caracterizar los diferentes flujos (locales, intermedios y regionales) sobre la base de un grupo de indicadores geoquímicos.

**Palabras claves:** sistema de flujos de aguas subterráneas, caracterización hidrogeoquímica, modelación hidrogeoquímica.

### ABSTRACT

In this paper are presented the results of the water hydrochemical characterization at Sierra del Rosario, Cuba. This study was carried out between 1984 to 2002 from a systematic monitory complemented with information about prospecting work, corresponding to flows of different hydrogeologic nature which drain limestone, schist, sandstone and ultra-basic rocks, with ages from Paleocene to Jurassic. The data was processed by means of statistics, and based on chemical equilibrium physico-chemist models.

By means of mass balance and mixing hydrogeochemical models, the chemical composition origin of the waters from different hydrogeologic nature (local, intermediate and regional flows) which drain different lithology (limestone, schist, sandstone and ultra-basic rocks) was determinate. Applying regression and correlation analysis 7 flow lines or evolution path from the precipitation were established.

The results demonstrate that the physicochemical properties of the water are controlled by the water - rock interaction during the contact time from the infiltration of the precipitation to the emission of the waters, and by the constitution of the aquifer materials. By means of a





geochemist indices group, the different type of flows (local, intermediate, and regional) are characterized.

**Keywords:** groundwater flow systems, hydrogeochemical characterization, hydrogeochemical modeling.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos cuarenta años se han realizado varias importantes contribuciones que permiten adquirir mejor conocimiento acerca de la hidrogeología de la Sierra del Rosario en la provincia de Pinar del Río. Sin embargo, la mayor parte de los resultados que relacionan la química de las aguas con la geología han sido presentado de manera aislada, faltando una integración de los mismos.

La abrupta topografía de las montañas en el área de estudio ha sufrido poco cambio medioambiental, en virtud de la poca población que la habita, la cual se ha confinado principalmente al pie de los macizos montañosos. Por esa razón, la fauna y flora autóctona locales han sufrido menos impacto humano que en otras la región, a lo que también ha contribuido la declaración por la UNESCO de la Sierra del Rosario como Reserva de la Biosfera en 1985

Desde el punto de vista geológico e hidrogeológico, el área de estudio es muy heterogénea. Existe un gran número de manantiales que presentan aguas con muy diferentes calidades. Las investigaciones realizadas por Fagundo y colaboradores desde 1984, sobre la denudación química del karst tropical y el control de la composición química de agua (Pulina y Fagundo, 1984, 1992; Rodríguez et al, 1989; Rodríguez y Fagundo, 1995; Fagundo et al, 1986; 1995; 1997; 1998; Franco et al, 1987), sobre las aguas minerales de la región (Fagundo et al, 2000a; 2000b, 2001; 2003; Peña et al, 2001; González et al, 2001; 2002; Llerena et al, 2001), así como los estudios efectuados por Peláez et al (1990) relacionados con la prospección de aguas minerales y mineromedicinales, han suministrado una abundante información que permite establecer el control geológico sobre los recursos de aguas subterráneas en la región. De estos estudios se infiere que los múltiples manantiales de diferente naturaleza hidrogeológica que ocurren en la región se deben a la naturaleza kárstica del terreno, a la disposición de las secuencias estratigráficas presentes y a los procesos de interacción agua-roca correspondientes. Por esa razón, es interesante estudiar la naturaleza de los flujos con relación a las características geológicas locales.

En un trabajo anterior se caracterizaron flujos de diferente naturaleza hidrogeológica en la Sierra del Rosario y se determinó el origen de su composición mediante la aplicación de modelo de reconocimiento de patrones, balance de masas y mezcla de aguas (Fagundo et al, 2003). El objetivo principal de este nuevo trabajo es ordenar la información sobre la química de las fuentes de aguas subterráneas disponibles acorde a las peculiaridades geológicas del sitio, y establecer las principales regularidades que caracterizan los grupos seleccionados. Además, mediante la modelación hidrogeoquímica de los datos de componentes mayoritarios y mediciones de campo, definir las líneas de flujo (evolución química) existentes a partir de las lluvias que drenan los macizos, a partir del estudio de los cambios de la temperatura y de la composición iónica y mineralización total.



## MARCO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

La parte central del área de estudio se encuentra localizada aproximadamente a 100 km. del sudoeste de la ciudad de La Habana (Figura 1) y ocupa una superficie de 1 125 km<sup>2</sup>. Las condiciones climáticas están controladas por dos factores principales, la elevación con respecto al nivel del mar del sitio y la distancia a la costa marina (Pulina y Fagundo, 1984). La mayor elevación y más destacado relieve lo constituye el Pan de Guajabón, con una 699 m de altura sobre el nivel del mar. Las temperaturas medias anuales en esta parte del territorio y la costa marina son de 23° C y 25° C, respectivamente. Las temperaturas máximas y mínimas registradas en el occidente de Cuba son 36° C y 2° C, respectivamente. Los meses más calientes son Julio y Agosto y los más fríos Diciembre y Enero. Las precipitaciones anuales en la Sierra del Rosario son del orden de 2 000 mm, de las cuales 1 600 mm caen durante los meses más lluviosos (Mayo a Octubre) y 400 mm durante los meses más secos (Noviembre a Abril). Las precipitaciones registradas disminuyen en los territorios de más bajo nivel topográfico (alrededor de 1 050 mm anuales).

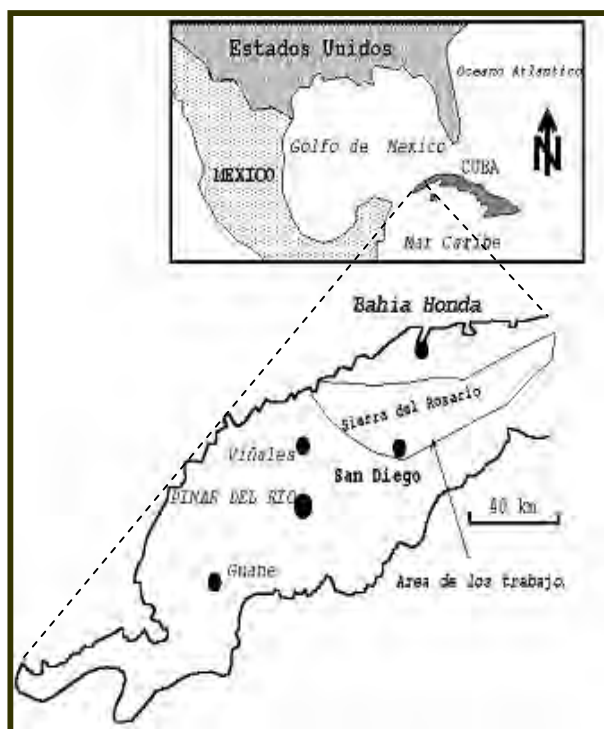
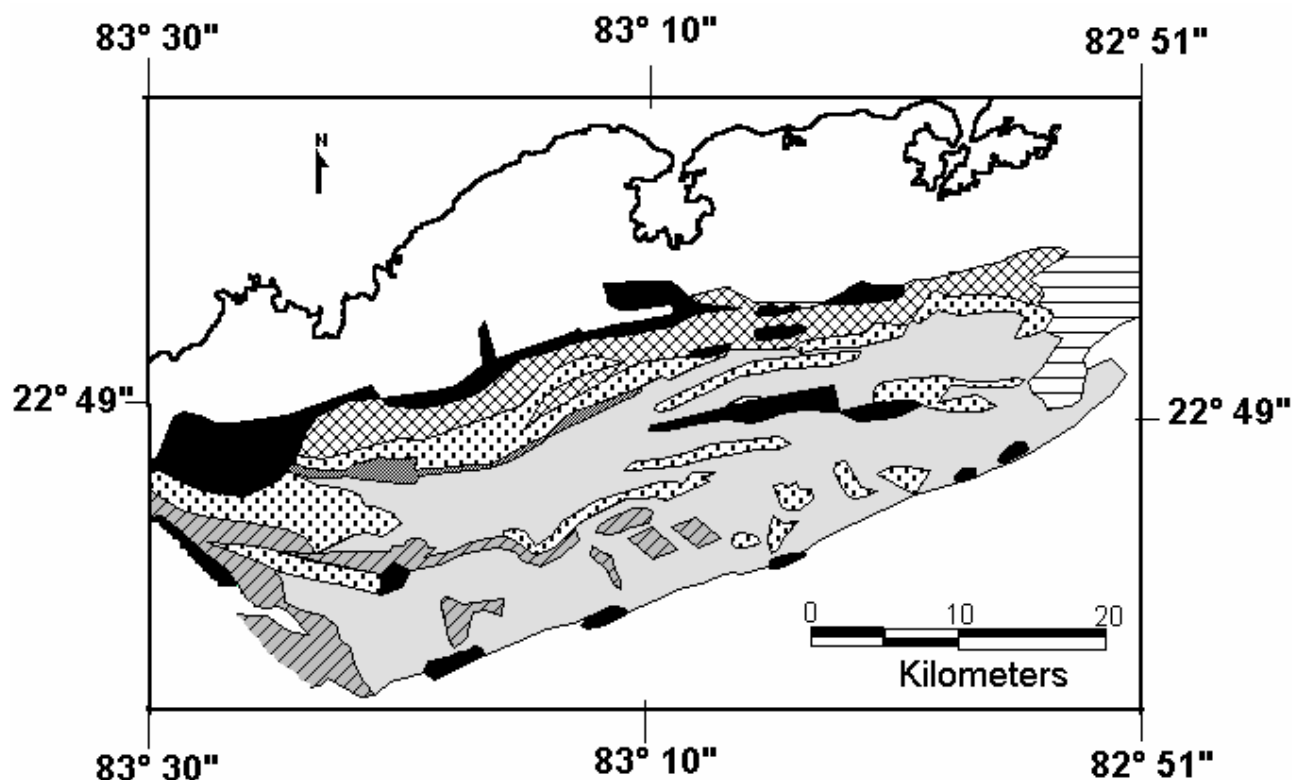


Figura 1. Esquema de ubicación de la Sierra del Rosario.

La geología de la Sierra del Rosario se caracteriza por una complejidad litológica y estructural (Fig. 2), como consecuencia del desplazamiento y transporte tectónico de rocas ocurrido durante el Eoceno Medio (Pszczoiowski, 1978). En el área se aprecian tres unidades fisiográficas principales paralelas e intercaladas entre sí, constituidas por calizas, esquistos - areniscas y rocas ultrabásicas, las cuales están limitadas al norte y al sur por las fallas Bahía Honda y Pinar respectivamente. Estas características morfológicas hacen que las aguas almacenadas por las secuencias más permeables emergen en los contactos con las menos permeables, originando arroyos y ríos que vierten sus aguas al Golfo de México (ríos San Marcos, Bahía Honda y Nazareno) o hacia el Mar Caribe (ríos Caiguanabo, Los Palacios, Santa Cruz, San Cristóbal, Bayate y San Juan).



Las unidades geológicas que afloran en el área se describen ligeramente a continuación desde las más antiguas hasta las más recientes. La caracterización general de las mismas es complementada por una descripción mineralógica tomada de los análisis efectuados a los testigos de perforación durante los trabajos de prospección en el área, cuya información aparece en los correspondientes informes (Peláez et al, 1990).



### Legend

	Sandstones, Schist and Limestones of Vibora and Capdevila Fms.		Limestones of Artemisa Fm.
	Sandstones, Schists, and Limestones of Manacas Fm.		Sandstones, Shale and Schists of San Cayetano Fm.
	Basaltic and siliciclastic rocks of Encrucijada and Quiñones Fms.		Serpentinities of Ophiolitic Association
	Limestones of Guajaibón, Sierra Azul, Lucas, Polier Fms.; Breccias, Calcarenites and Calcilutites of Cacarajicara Fm.		



La Fm. San Cayetano ( $J_1$ - $J_3$ ) es la unidad más antigua que aflora en la Sierra del Rosario. Es de edad Jurásico inferior (Oxfordiano) y se compone de areniscas cuarzosas, pizarras, lutitas, argilitas, esquistos filitizados y material carbonoso. Su espesor puede alcanzar hasta 3 000 m. Ocasionalmente los poros de las areniscas se encuentran cementados por arcillas y material ferruginoso, raramente son encontrados en estas rocas estratos de calizas. En la localidad de San Diego de los Baños su potencia es de 1 000 m., y se ha reportado (Peláez et al, 1990) que contienen: cuarzo (60-75 %); plagioclasa (2-5 %); moscovita (1-2 %); titanio (<1%), apatito (<1%), circonio (<1%), turmalina (<1%), sustancias carbonosas (<1%) piritita en forma dispersa.

La Fm. Artemisa ( $J_3$ - $K_1$ ) es la mas ampliamente distribuida en el área, pertenece al Jurásico superior – Cretácico inferior. Está representada por calizas estratificadas (micritas, biomicritas) con intercalaciones de silicitas en la parte superior del corte. Su espesor total es aproximadamente de 800 m (Pszczolkowski, 1978). Localmente está representada por calizas (80-95%), material carbonoso (5-15%), cuarzo (<1%), titanio (<1%), y minerales oxidados. En ocasiones presenta capas de materia arcillo ferruginosa (Peláez et al, 1990).

La Fm. Sierra Azul ( $K_{1-2}$ ) pertenece al Cretáceo inferior-superior y está representado por material terrígeno carbonatado, así como por calizas, calizas margosas, argilitas y silicitas. Su espesor es de 600 m (Pszczolkowski, 1978).

La Fm. Guajaibón ( $K_{1-2}$ ) se originó en el Cretáceo superior (Albiano – Cenomaniano). Se estima que su espesor máximo es de 600 m.

La Fm. Cacarajicara ( $K_2$ ), es también del Cretáceo superior (Maestrichtiano) y se compone de brechas calcáreas, calcilutitas y en ocasiones de fragmentos de rocas volcánicas (traquita). Se reporta con menos frecuencia la presencia de rocas volcánicas alcalinas. Su máximo espesor es de 450 m, aunque en algunas localidades este es sólo de 50 m.

A la Fm. Manacas ( $P_{1-2}$ ) se le ha asignado una edad indiferenciada Paléogeno – Eoceno. Esta unidad fue previamente nombrada Fm. Pica Pica y posee una potencia máxima estimada de 200 m. La misma está constituida por areniscas, esquistos, calizas y olistostromas (Pszczolkowski, 1978). Localmente el material no carbonatado se compone de: fragmentos de rocas basálticas (1%), cuarzo (10%), calizas (25%), plagioclasa (30%). También se han encontrado impurezas de arcillas ferruginosas, vidrio volcánico y apatito.

Debido a la prevalencia del relieve kárstico en la región, la infiltración de las precipitaciones a través de los macizos es instantánea y de carácter gravitatorio. Las zonas hidrogeológicas en los macizos kársticos han sido definidas por la relativa posición del nivel piezométrico y el movimiento del agua en la zona vadosa. Una zona transicional definida por la posición relativa de las aguas de lluvia que discurren por el suelo hasta alcanzar el nivel piezométrico, consiste en cuevas que almacenan aguas periódicamente. Estas cuevas alcanzan una profundidad de hasta 100 m y menos frecuentemente profundidades del orden de 300 – 350 m. Algunas de estas cavernas se encuentran a menudo inundadas y se observan surgencias laterales a través de manantiales con caudales de varios litros por segundo, cuyas aguas no son capaces de seguir su recorrido subterráneo hacia abajo hasta contactar con sedimentos impermeables. Las cuevas constituyen conductos subterráneos originados por disolución química y la posición del nivel piezométrico ha sido establecida por observaciones de campo



y perforaciones de pozos. Investigaciones espeleológicas recientes han confirmado la existencia de extensos sistemas cavernarios en la zona de transición.

La información relacionada con las propiedades hidráulicas de las unidades que integran los diferentes complejos hidrogeológicos de la Sierra del Rosario es escasa, con excepción de aquellos sitios donde se han hecho trabajos de prospección con fines mineros y de búsqueda de aguas mineromedicinales (Peláez et al, 1990). Los gastos específicos determinados en los pozos perforados en los materiales constitutivos (esquistos, pizarras y areniscas cuarzosas) de la Fm San Cayetano, fueron bajos del orden de 0.7 a 4.6 l/s/m (pozos P1, P2 y P3).

Los esquistos, areniscas y calizas de la Fm. Manacas son también poco acuíferos. En los manantiales muestreados los caudales son inferiores a 1 l/s.

Los manantiales originados en las calizas de la Fm. Guajaibón, representado en el área por la surgencia Ancón presenta caudales del orden de 72 l/s en los meses más secos y del orden de 528 l/s en los meses más lluviosos (Rodríguez, et al, 1989).

Los manantiales de la zona de emisión de los acuíferos desarrollados en los materiales de la Fm. Sierra Azul (calizas, calcarenitas, calcilutitas, calizas margosas, argilitas y silicitas), así como los relacionados con la Fm. Cacarajícara (constituida por brechas, calcarenitas, esquistos, calizas y olistostromas) poseen caudales algo menores al de las surgencias de la Fm. Guajaibón.

Los caudales de las surgencias kársticas relacionadas con las calizas estratificadas de la Fm Artemisa (constituida por calizas y silicitas) son del orden de 250 l/s, mientras que los pozos perforados en la región presentan gastos específicos del orden de 1.2 a 2.1 l/s/m.

La información relacionada con las propiedades hidrogeológicas de las unidades que integran los sedimentos de la Sierra del Rosario es escasa, con excepción de aquellos sitios donde se han realizado trabajos de prospección con fines mineros y de búsqueda de aguas mineromedicinales (Peláez et al, 1990) o estudios específicos para medir la intensidad de la denudación kárstica (Pulina y Fagudo, 1992; Rodríguez et al, 1995).

Como ya se ha señalado, la Sierra del Rosario se caracteriza por presencia de fajas de diferente constitución litológica, orientadas de norte a sur (Figura 2), las cuales están en contacto tectónico según superficies de sobrecorrimento, adicionalmente deformadas en un conjunto de nappes, cruzadas por fallas transversales a las fallas principales (Pinar y Bahía Honda), originándose bloques de menores proporciones (Rodríguez y Fagundo, 1995). Estas fajas son las siguientes:

1. Faja de las ofiolitas. Se extiende desde la Sierra de Cajalbana hasta cerca del Mariel. Está constituida por rocas ultrabásicas de la Asociación Ofiolítica.
2. Faja Quiñones (Felicidades). Se extiende desde el norte del Pan de Guajaibón hasta el caserío del Rosario. La componen rocas efusivo sedimentarias del Cretácico (formaciones Encrucijada, Vía Blanca y Quiñones) y esquistos, areniscas y calizas del Paléogeno (Fm. Manacas).
3. Faja Guajaibón – Santo Tomás. Se extiende desde el macizo calcáreo Pan de Guajaibón hasta el poblado de Santo Tomás. Está constituida por calizas, calcarenitas, dolomita y calizas silicoclásticas de las formaciones Guajaibón, Sierra Azul, Cacarajícara, Polier y Lucas.
4. Faja Rosario Norte. Se extiende desde el poblado de El Sitio hasta el poblado de Francisco. Constituida por calizas estratificadas de la Fm. Artemisa, esquistos, areniscas y calizas del Paléogeno (Fm. Manacas) y rocas ultrabásicas.





5. Faja Rosario Sur. Se extiende aproximadamente desde las márgenes del río San Diego hasta el poblado de Cayajabos. Está compuesta de sedimentos calcáreos de las formaciones Artemisa y Francisco, esquistos y areniscas de la Fm. San Cayetano y basaltos de la Fm. Sábalo.

En la tabla 1 se muestra las principales litologías que componen las formaciones que integran dichas unidades.

Los depósitos que componen la faja ofiolítica origina acuíferos de fisura. A pesar de la poca información existente con respecto a estos acuíferos de la Sierra del Rosario, se conoce que los caudales de los pozos perforados en estos materiales, en otros sitios del país, son del orden de 0,2 a 0,3 l/s (Ergorov y Luege, 1967). Si embargo, en zonas de dislocaciones tectónicas los caudales pueden alcanzar hasta 20 l/s. Estos materiales pueden originar acuíferos locales e intermedios.

Asociados a esta región fueron estudiados en este trabajo los sitios denominados: Cajalbana 1, Cajalbana 2, Cajalbana 3, Cajalbana 4 y Cajalbana 5.

En la faja Quiñones, los materiales constitutivos de las formaciones presentes, tanto del Cretácico como del Paleógeno son poco acuíferos. Si embargo, en algunos lugares donde existen calizas agrietadas se obtienen caudales apreciables. En la Sierra del Rosario, estos depósitos originan flujos locales e intermedios y sirve de cauce a arroyos superficiales, algunos de los cuales, como el denominado Mamey, se sumerge en un sumidero kárstico. De estos materiales, fueron muestreados los arroyos La Sed, Mamey y Fluoresceina, en las cercanías del Pan de Guajaibón.

La faja Guajaibón – Santo Tomás - Martín Mesa se caracteriza por la prevalencia de unidades carbonatadas. Debido a ello se desarrolla un relieve kárstico en la región. La infiltración de las precipitaciones a través de los macizos es instantánea y de carácter gravitatorio. Las zonas hidrogeológicas en los macizos kársticos han sido definidas por la relativa posición del nivel piezométrico y el movimiento del agua en la zona vadosa. Una zona transicional definida por la posición relativa de las aguas de lluvia que discurren por el suelo hasta alcanzar el nivel piezométrico, consiste en cuevas que almacenan aguas periódicamente. Estas cuevas alcanzan una profundidad de hasta 100 m y menos frecuentemente profundidades del orden de 300 – 350 m. Algunas de estas cavernas se encuentran a menudo inundadas y se observan surgencias laterales a través de manantiales con caudales de varios litros por segundo, cuyas aguas no son capaces de seguir su recorrido subterráneo hacia abajo hasta contactar con sedimentos impermeables. Las cuevas constituyen conductos subterráneos originados por disolución química y la posición del nivel piezométrico ha sido establecida por observaciones de campo y perforaciones de pozos. Investigaciones espeleológicas recientes han confirmado la existencia de extensos sistemas cavernarios en la zona de transición.

En esta zona fue estudiado un gran número de manantiales, surgencias kársticas y aguas de infiltración en las cuevas, correspondientes todas a flujos locales o intermedios. Entre estos sitios se pueden citar los siguientes: Cuevas Lechuza, Canilla, Ancón y Mamey; manantiales Macagua, Cuchillas de Sagua, Mameyes, Mineros y Conuco de la Bija; resurgencia Canilla, surgencia Ancón y resurgencia Ancón 2; manantiales Fernando, La Curra (asociados a la Fm. Guajaibón); manantiales Lucas 1, Lucas 2 y Lucas 3 (Asociados a la Fm. Lucas); manantial Cacarajícara no sulfuroso y Cacarajícara sulfuroso (asociados a las formaciones Sierra Azul y Cacarajícara); manantial Martín Mesa (formación del mismo nombre).

El caudal medio medido entre 1984 y 1989 fue de 124 l/s en la resurgencia Canilla y de 199 l/s en la surgencia Ancón. Los caudales mínimos y máximos en ese período variaron entre 3,6 y 1589 l/s en Canilla y entre 2,1 y 8873 l/s en Ancón (Rodríguez et al, 1989).





Las fajas Rosario Norte y Rosario Sur poseen características hidrogeológicas muy similares, debido a la gran distribución que poseen en las mimas la caliza de la Fm Artemisa. En ambas franjas se presentan también rocas no carbonatadas de semejante composición y existe un estilo tectónico similar, todo lo cual favorece la formación de acuíferos en las grietas y cavernas a diferentes profundidades, originados por flujos locales, intermedios o regionales, algunos con altos contenidos de sulfuros. Entre los puntos muestreados en esta región se encuentran: pozo El Sitio; manantiales: Mil Cumbres no sulfuroso y Mil Cumbres sulfuroso, Caimito, Kiquere, Recogedor, Batea, San Marcos, El Cuatro, Juan Carmona, Rancho Mar (franja Rosario Norte); manantiales Cueva Portales, M1 Bermejales, El Tigre, El Templado, La Gallina, Pozo Azul, Soroa, La Pastora, Pedernales, Brocal, San Juan sulfuroso y San Juan no sulfuroso; pozos P1, P2, P3, P4, P12, P13, P17 y P19 y ríos Taco Taco y Bacunagua (franja Rosario Sur).

Los gastos específicos determinados en los pozos perforados en los materiales constitutivos (esquistos, pizarras y areniscas cuarzosas) de la Fm San Cayetano, fueron bajos del orden de 0.7 a 4.6 l/s/m en los pozos P1, P2 y P3 (Peláez et al, 1990). Los caudales de las surgencias kársticas en esta área son semejantes a los de la región del Pan de Guajabón (flujos intermedios). Las aguas procedentes del drenaje profundo (flujos regionales) poseen un caudal menor. Los caudales de los manantiales mineromedicinales son del orden de menos de 1 l/s en Los Bermejales, cerca de 1 l/s en Soroa y de 10 l/s en San Diego de los Baños.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron 376 datos hidroquímicos, a partir de muestreos realizados entre los años 1984 y 2002 (Pulina y Fagundo, 1984; Franco et al, 1987; Peláez et al, 1990; Fagundo et al, 1993; González et al, 2000).

Las mediciones de los parámetros geoquímicos se realizaron en el campo, las más recientes mediante pHmetro, medidor de temperatura y potencial redox (Eh), modelo HI-8424, marca HANNA y oxímetro modelo HI-914, marca HANNA. Los contenidos de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, así como la alcalinidad total (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) fueron también determinados "in situ", mientras que los restantes macroconstituyentes (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>) y componentes trazas se analizaron en el laboratorio antes de las 24 horas de tomadas las muestras. Las marchas analíticas se efectuaron mediante las técnicas analíticas estándar (APHA, AWWA, WPCF, 1989) adaptadas para condiciones de campo (Markowicz y Pulina, 1979).

La calidad de los datos fue previamente validada antes de ser procesados mediante varios software, basados en modelos estadísticos, químico-físicos e hidrogeoquímicos, implementados especialmente para los objetivos del trabajo (Alvarez y Fagundo, 1991; Fagundo-Sierra et al, 2001; 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características hidroquímicas de los diferentes tipos de flujos.

Los datos de análisis de agua utilizados en el trabajo, acorde a las características geológicas (litológicas y estructural) del sitio muestreado y a los tipos de flujos establecidos según el criterio de Tóth (1995), fueron distribuidos en 9 grupos, cuyas características hidrogeológicas e hidroquímicas se describen a continuación (Tabla 1.1):

Grupo 1. Está representado por flujos locales e intermedios que drenan acuíferos no confinados constituidos por esquistos, areniscas y calizas de la Fm. Manacas. Estas aguas se caracterizan por presentar baja temperatura (23.7±2.1 °C), ligera alcalinidad (pH,



7.67±0.42), relativamente bajos contenidos de CO<sub>2</sub> (2.7±2.0 mg/l) y cloruro (20.0±5.2 mg/l) y de minerales disueltos (sólidos solubles totales SST: 133±23 mg/l, flujos locales; 412±104 mg/l, flujos intermedios). La facies hidroquímica típica es HCO<sub>3</sub> - Ca > Na y poseen poco contenido de minerales disueltos dada la pobre solubilidad de los aluminosilicatos a baja temperatura. Las relaciones iónicas (Tabla 1.2) son homogéneas entre sí, poniéndose de manifiesto la presencia de dos subgrupos bien diferenciados correspondientes a ambos flujos. Los flujos locales se encuentran subsaturados con respecto a la calcita y la dolomita mientras los flujos intermedios tienden a la saturación con respecto a ambos minerales (Figura 3.1). Con relación al yeso ambos flujos se encuentran insaturados.

Grupo 2. Constituido por flujos locales que proceden de manantiales y arroyos procedentes de acuíferos no confinados desarrollados en rocas ultrabásicas de la Asociación Ofiolítica. Estas aguas se distinguen por presentar temperaturas frías (23.3±1.2 °C), altos valores de pH (8.35±0.44), poco contenido de CO<sub>2</sub> (2.3±1.5 mg/l) y Cl<sup>-</sup> (16.6±2.5 mg/l), así como moderado SST (329±70 mg/l). El ambiente en que emergen es oxidante (Eh, 156 mv y 8.4 mg/l O<sub>2</sub> disuelto) y posee facies hidroquímica del tipo HCO<sub>3</sub> - Mg. En el transcurso de su recorrido, estas aguas alcanzan el equilibrio químico (Figura 3.2) con respecto a la serpentinita (expresada en términos de dolomita), pero no con respecto a la calcita y al yeso dada la poca disponibilidad de estos minerales en el terreno. Al igual que el resto de los flujos de carácter local, estas aguas presentan condiciones oxidantes y poseen relativamente altos contenidos de oxígeno disuelto (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Composición química media de las muestras de la Sierra del Rosario.

No	N	T °C	Eh mv	O <sub>2</sub> mg/l	pH	CO <sub>2</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	H <sub>2</sub> S mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	TSS mg/l	Ref.
1	4	22.2			7.04	2.2	0	0	12.2	5.7	0.0	0.8	4.5	4.8	0.5	24	1
2	5	24.5			7.39	4.7	8.6	0	84.6	12.1	2.9	15.5	3.8	15.0	0.5	133	1
3	31	23.1			7.78	1.9	14.7	0	277.6	21.0	8.4	54.4	10.7	37.4	1.3	412	1
4	17	23.3	156	8.4	8.35	2.3	18.8	0	236.2	16.6	8.9	5.2	44.7	15.4	0.4	329	1
5	21	21.7			8.17	1.4	7.4	0	156.4	16.8	5.4	47.0	4.2	10.2	0.2	240	1
6	14	22.1			7.62	9.7	4.6	0	256.7	15.0	2.6	68.8	6.9	15.5	0.2	366	1
7	94	22.7			7.54	8.2	4.5	0	197.2	15.2	10.1	55.9	5.4	14.0	0.4	298	1
8	6	23.1			7.11	41.5	5.9	0	280.1	20.0	16.7	79.4	8.5	18.6	0.6	424	1
9	2	25.8	-174	5.5	7.02	50.3	12.1	8.1	364.6	30.3	67.0	101.4	12.3	48.3	1.5	625	1
10	37	23.4	-238	1.6	7.31	25.1	5.1	0	306.8	17.7	34.3	92.8	6.7	22.9	0.7	482	1,2
11	5	19.4	91.7	5.7	8.40	0.0	4.1	0	176.3	18.4	18.4	65.7	6.2	9.3	0.0	306	1
12	28	24.6	-228	1.2	7.13	61.0	11.3	9.2	395.7	37.8	30.5	110.9	13.9	32.5	1.1	622	1
13	9	26.3	-327	1.8	7.35	40.1	34.6	56.2	493.5	25.7	22.8	83.6	31.2	56.5	1.7	715	1,2,3
14	1	25.0			8.00	0.0	12.0	0	192.6	17.0	34.6	8.0	3.7	86.0	2.7	345	2
15	12	27.8	-317	1.2	8.04	20.0	26.6	67.7	742.4	125.3	86.5	36.9	17.3	317.5	9.8	1336	1,2,4
16	90	38.7	-300	2.5	7.24	43.3	22.0	26.0	251.7	38.7	1298	453.2	51.1	119.2	5.6	2217	1,2,4,5

1) Lluvia; 2) Manantiales y pozos que drenan sedimentos de la Fm. Manacas; 3) Manantiales y arroyos que discurren por la Fm Manacas (flujos intermedios); 4) Manantiales y arroyos que discurren por sedimentos de la Asociación Ofiolítica; 5) Aguas de infiltración en las cuevas; 6) Manantiales de la zona de alimentación de los acuíferos kársticos desarrollados en la Fm. Guajaibón; 7) Surgencias y resurgencias kársticas de la Fm. Guajaibón; 8) Manantiales que drenan sedimentos de la Fm. Sierra Azul; 9) Manantiales que drenan sedimentos de la Fm. Sierra Azul e interactúan con sedimentos de la Fm. Cacarajicara; 10) Manantiales someros



que drenan sedimentos de la Fm. Artemisa; 11) Arroyos que discurren por sedimentos de la Fm. Artemisa; 12) Manantiales procedentes del drenaje profundo que drenan sedimentos de la Fm. Artemisa; 13) Manantiales que interactúan con diferentes litologías; 14) Pozo perforado en las capas superficiales de la Fm. San Cayetano; 15) Manantiales que drenan sedimentos de la Fm. San Cayetano; 16) Manantiales procedentes del drenaje profundo, que drenan sedimentos de la Fm. Artemisa e interactúan con otras litologías.

Ref: Referencias bibliográficas 1) Fagundo et al., 1997; 2) Peláez et al, 1990; 3) Peláez et al, 1998; 4) Trelles, 1948; 5) González et al, 2000.

Tabla 1.2 (complementaria de 1.1). Indicadores geoquímicos del tipo de flujo y litología: temperatura media anual, potencial redox, oxígeno disuelto, contenidos de sulfhídrico y sílice, sólidos solubles totales (TSS), principales relaciones iónicas e índices de saturación con respecto a la calcita (RSC), la dolomita (RSD) y el yeso (RSD). Flujos de diferente naturaleza hidrogeológica en la Sierra del Rosario.

No	Ca/ Mg	(Na+K)/ Ca	(Na+K)/ Mg	SO <sub>4</sub> / Ca	SO <sub>4</sub> / HCO <sub>3</sub>	Ca/ HCO <sub>3</sub>	Mg/ HCO <sub>3</sub>	(Na+K)/ HCO <sub>3</sub>
2	4.03	0.98	3.38	0.09	0.05	0.55	0.24	0.52
3	3.33	0.65	2.06	0.07	0.04	0.61	0.20	0.38
4	0.04	4.63	0.15	0.92	0.03	0.03	0.98	0.14
5	8.11	0.21	1.75	0.05	0.05	0.91	0.14	0.18
6	8.61	0.21	1.47	0.01	0.01	0.82	0.13	0.16
7	7.06	0.23	1.63	0.08	0.07	0.87	0.14	0.19
8	6.39	0.21	1.32	0.08	0.07	0.86	0.15	0.18
9	5.05	0.63	3.07	0.48	0.40	0.85	0.17	0.53
10	11.6 9	0.24	2.75	0.15	0.14	0.92	0.11	0.21
11	6.45	0.13	0.83	0.13	0.13	0.97	0.15	0.13
12	5.49	0.28	1.41	0.11	0.10	0.86	0.18	0.23
13	2.70	0.67	1.65	0.26	0.20	0.63	0.28	0.40
14	1.33	9.65	12.87	1.80	0.21	0.12	0.09	1.15
15	1.05	43.95	10.86	6.71	0.15	0.13	0.12	1.17
16	5.57	0.24	1.31	1.17	7.52	6.22	1.13	1.44

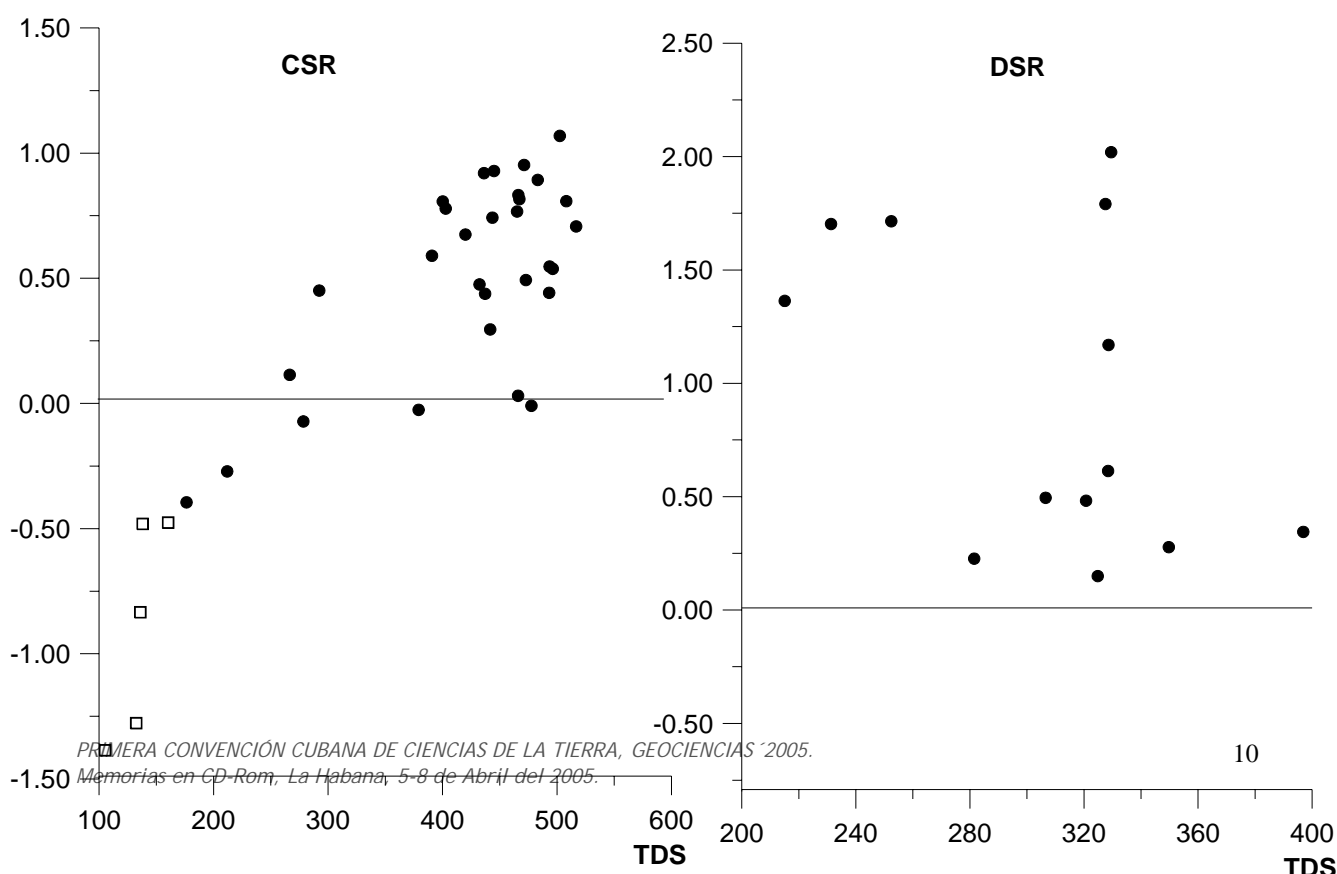




Figura 3-1. Valores de RSC y RSD en función de los SST (TDS). Flujos locales e intermedios que drenan esquistos y areniscas de la Fm. Manacas.

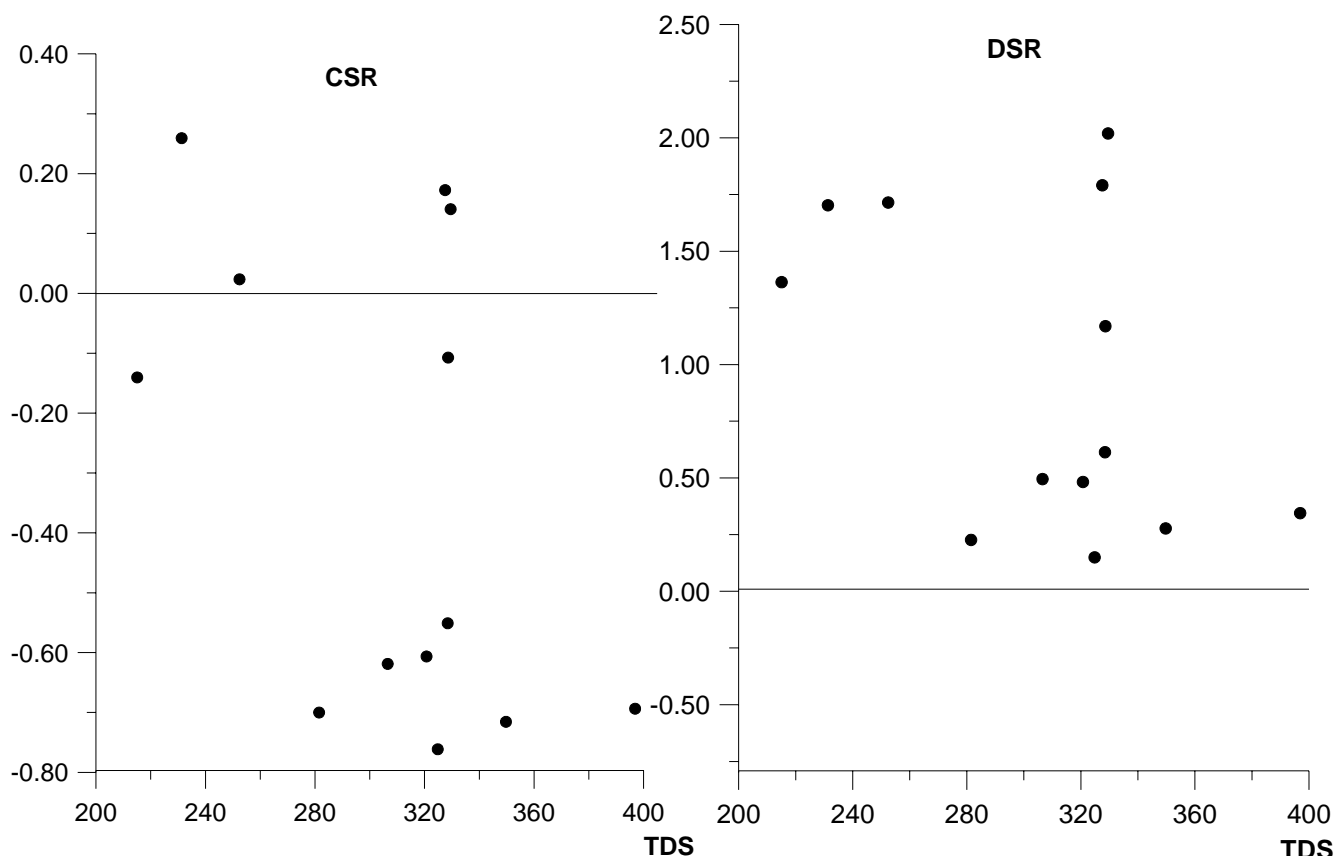


Figura 3. 2. Valores de RSC y RSD en función de los SST (TDS). Flujos locales que drenan rocas ultrabásicas de la Asociación Ofiolítica.

Grupo 3. Está representado por flujos locales e intermedios que drenan acuíferos no confinados en la zona vadosa del sistema kárstico del macizo del Pan de Guajaibón, constituidos por calizas de la Fm. Guajaibón. Se aprecian dos subgrupos: el primero constituido por aguas de infiltración en las cuevas (flujos locales que alimentan acuíferos colgados), originadas por percolación de las lluvias a través de las calizas, y el segundo subgrupo constituido por manantiales que emergen en los valles elevados; así como por surgencias y resurgencias kársticas que emergen al pie del macizo.

En su conjunto, estas aguas son frías ( $22.5 \pm 0.9$  °C) y poseen un contenido de cloruro bajo ( $15.5 \pm 3.3$  mg/l). Su pH es alto en las cuevas ( $8.17 \pm 0.17$ ) y más bajo en los manantiales y emergencias ( $7.55 \pm 0.34$ ); mientras que el  $\text{CO}_2$  es relativamente más bajo en las cuevas ( $1.4 \pm 1.7$  mg/l) que en los manantiales y emergencias ( $8.4 \pm 6.6$  mg/l). La concentración de minerales disueltos (SST) se incrementa 1.3 veces en estas últimas ( $307 \pm 57$  mg/l) con relación a las aguas de cueva ( $240 \pm 44$  mg/l). La facies hidroquímica de todas es  $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ .



Las aguas de cueva tienden a presentarse más veces cercanas al equilibrio químico con respecto a la calcita y la dolomita que en el segundo subgrupo (Figura 3.3). Con respecto al yeso todas se encuentran insaturadas. La respuesta a la acción de las lluvias sobre los macizos kársticos, tanto de los caudales como de los contenidos iónicos de las aguas en las emergencias, es relativamente rápida al igual que su recuperación.

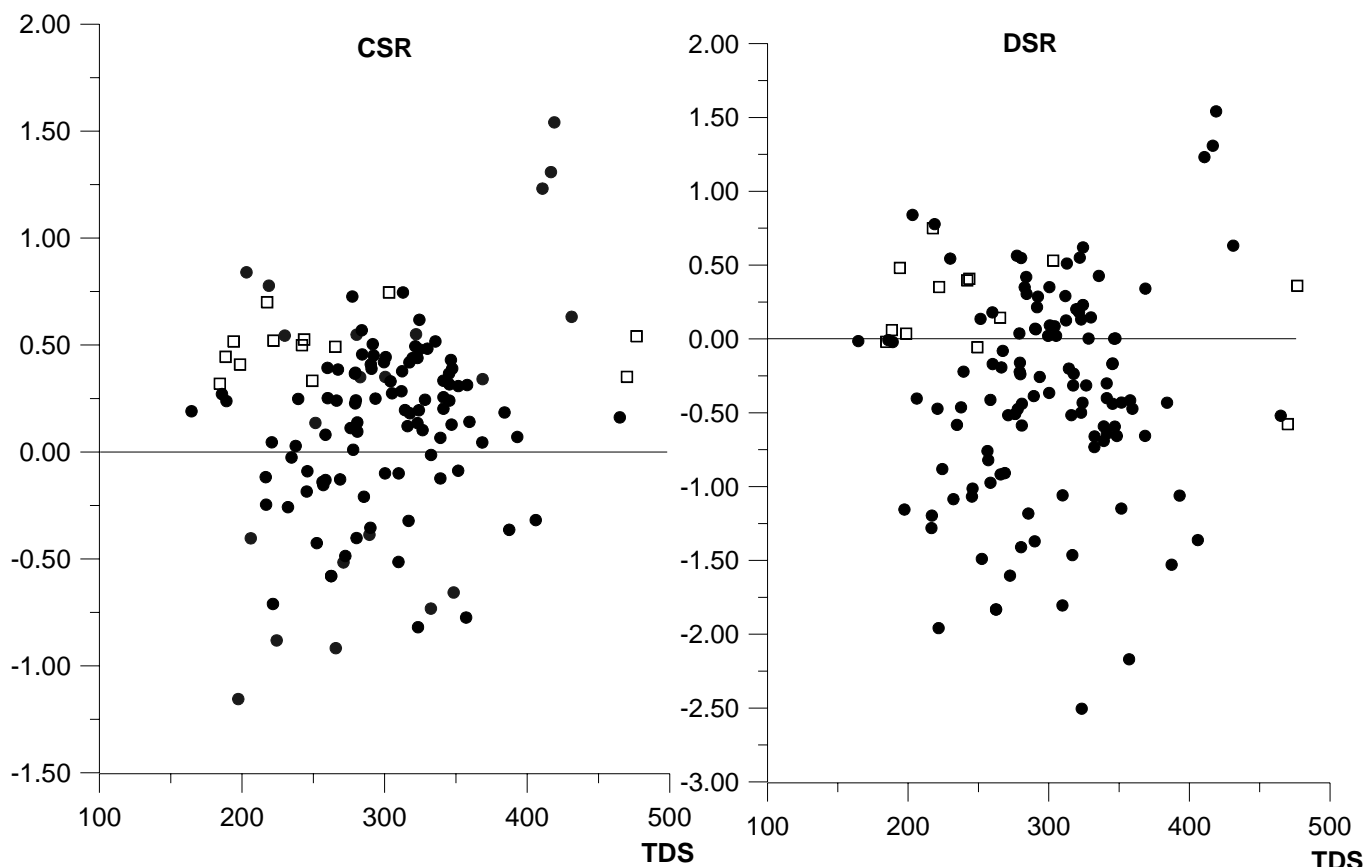


Figura 3.3. Valores de RSC y RSD en función de los SST (TDS). Flujos locales e intermedios que drenan calizas de la formación Guajaibón.

Grupo 4. Está formado por flujos locales e intermedios que drenan acuíferos no confinados constituidos por calizas de la Fm. Sierra Azul y brechas y calcarenitas de la Fm. Cacarajícara. Las aguas más someras (flujos locales) son de temperatura fría ( $23.1 \pm 0.8$  °C), pH aproximadamente neutro ( $7.11 \pm 0.28$ ), pero presentan altos contenidos de  $\text{CO}_2$  ( $41.5 \pm 10.7$  mg/l). Este tipo de flujo posee bajo contenido de cloruro ( $20.0 \pm 5.8$  mg/l) y moderada concentración de iones disueltos (SST,  $424 \pm 70$  mg/l). Estas aguas, tal como se aprecia en la tabla 1.1, tienen potenciales redox negativos (Eh -174) y altos contenidos de  $\text{O}_2$  disuelto (5.4 mg/l). Los contenidos iónicos de las aguas más profundas que interactúan con los sedimentos de la Fm. Cacarajícara (flujos intermedios) son superiores a las de los flujos locales (Tabla 1), se encuentran en estado más reducido y poseen  $\text{H}_2\text{S}$ . Las facies hidroquímicas presentes son:  $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$ , en la parte superior y  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca} > \text{Na}$ , en la parte inferior del acuífero (Figura 3). Constituyen un grupo homogéneo con relaciones



iónicas del mismo orden de la Fm. Guajaibón (Tabla 1.2). Se distinguen de las anteriores por presentar un relativamente alto contenido de  $\text{CO}_2$  y un pH más bajo. El comportamiento de los valores de RSC, RSD y RSY (Figura 3.4) es similar al del subgrupo de las emergencias kársticas de la Fm. Guajaibón.

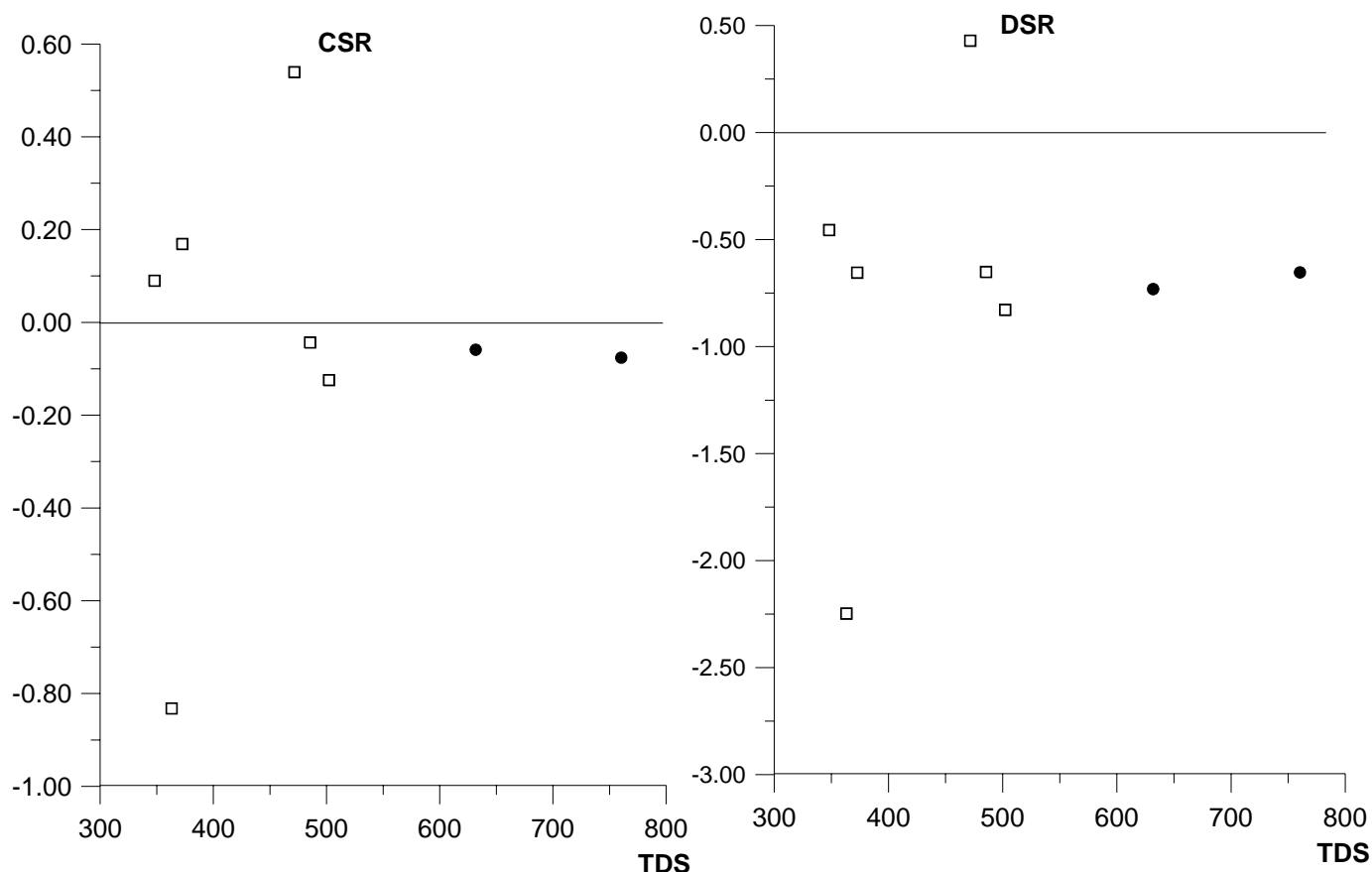


Figura 3.4. Valores de RSC y RSD en función de los SST (TDS). Flujos locales e intermedios que drenan calizas de la Fm. Sierra Azul e interactúan con sedimentos de la Fm. Cacarajícara.

Grupo 5. Está formado por flujos intermedios, los cuales drenan acuíferos no confinados constituidos por calizas de la Fm. Artemisa. Estas aguas tienen temperaturas frías ( $23.0 \pm 1.7$  °C), pH ligeramente neutro ( $7.42 \pm 0.52$ ), moderado contenido de  $\text{CO}_2$  ( $22.7 \pm 18.0$  mg/l), bajo contenido de  $\text{Cl}^-$  ( $17.4 \pm 4.1$  mg/l) y moderadas concentraciones de iones disueltos (SST,  $465 \pm 83$  mg/l). El Eh de estas aguas varía entre  $-50$  y  $-138.9$  mv y poseen altos contenidos de  $\text{O}_2$  disuelto (6.9 a 7.7 mg/l). La facies hidroquímica es  $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$  (Figura 3) y las relaciones iónicas son similares entre sí (Tabla 1.2). Por lo general las aguas procedentes de manantiales (subgrupo 1) tienden a alcanzar el equilibrio químico con respecto a la calcita y la dolomita, mientras que las que emergen a través de grandes conductos (surgencias y resurgencias) suelen encontrarse sobresaturadas con respecto a dichos minerales (Figura 3.5). Este comportamiento diferente está relacionado con la mayor facilidad al escape del  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua en el segundo caso. Con relación al yeso todas las aguas se encuentran insaturadas.



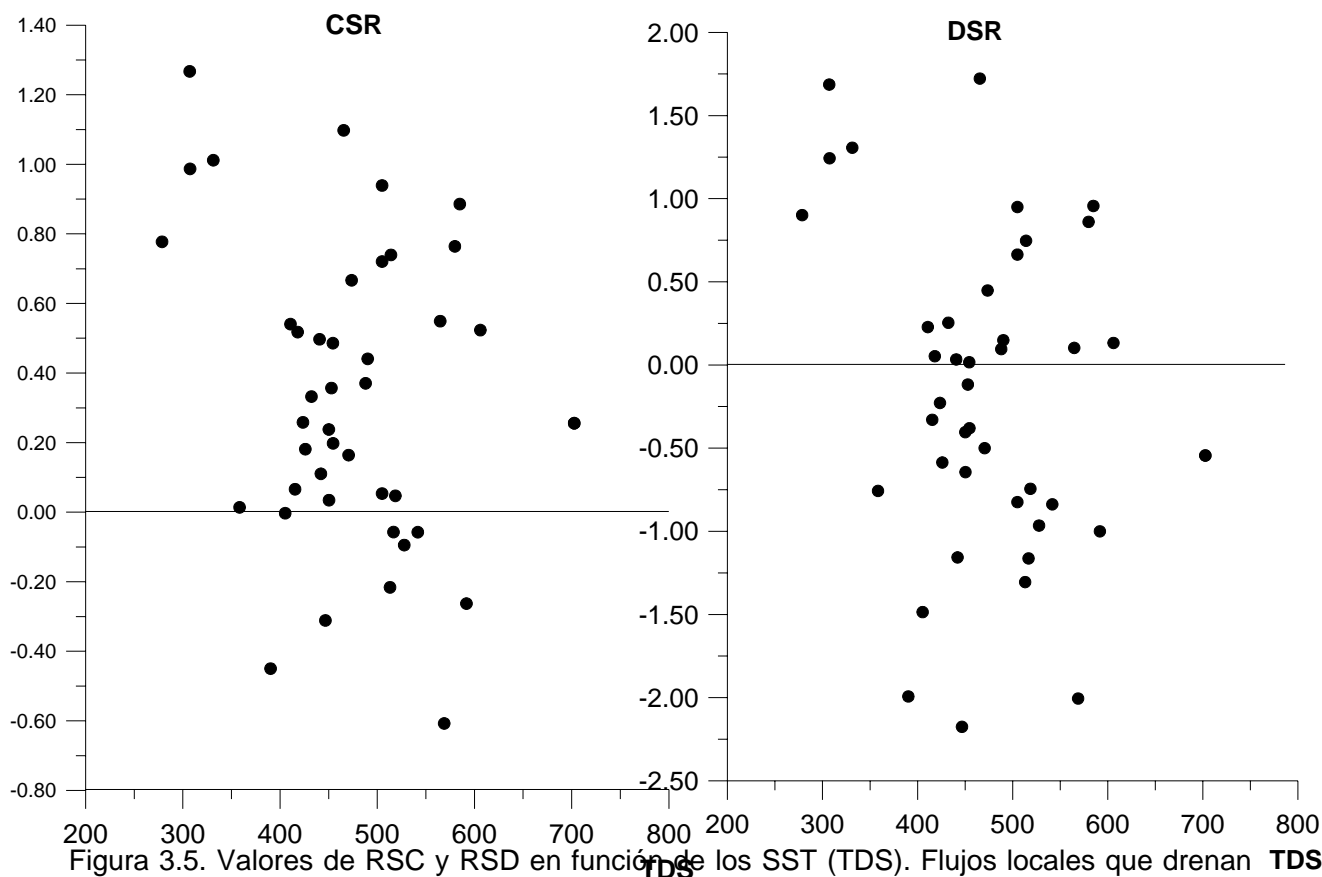


Figura 3.5. Valores de RSC y RSD en función de los SST (TDS). Flujos locales que drenan calizas de la Fm. Artemisa.

Grupo 6. Incluye flujos intermedios que drenan acuíferos no confinados desarrollados en calizas de la Fm. Artemisa a un nivel de profundidad mayor que el grupo anterior. Estas aguas están asociadas a las fracturas de la falla Pinar, así como a las grietas relacionadas con fallas transversales a aquella. Las temperaturas de estas aguas son ocasionalmente más elevadas que las restantes aguas estudiadas ( $24.5 \pm 1.6$  °C), el pH se encuentra cercano a la neutralidad ( $7.18 \pm 0.21$ ), poseen relativamente altos contenidos de  $\text{CO}_2$  ( $61.0 \pm 30.2$  mg/l), y de cloruro ( $37.8 \pm 13.2$  mg/l), así como concentraciones relativamente más altas de SST ( $622 \pm 115$  mg/l) que las anteriores. Estas aguas presentan potenciales redox negativos ( $-235$  a  $-280$  mv), bajos contenidos de  $\text{O}_2$  disuelto ( $1.2 - 1.9$  mg/l) y relativamente altos contenidos de  $\text{H}_2\text{S}$  disuelto ( $5.4 - 10.0$  mg/l). La principal facies hidroquímica es  $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ .

Este grupo es parecido en sus relaciones iónicas y tipo hidroquímico a las aguas del grupo 5, salvo que la magnitud de  $\text{Ca/Mg}$  (Tabla 1.2) es ligeramente menor (indicativo de una mayor presencia o disolución de dolomita). Se diferencia de dicho grupo por presentar un mayor contenido de cloruro, del total de iones disueltos (TSS), así como por la presencia de  $\text{H}_2\text{S}$ . La temperatura interanal en estas aguas varían entre  $23.5$  y  $25.6$  °C y el coeficiente de variación de la temperatura es del orden de  $0.8$  %. Estas características indican un mayor y más profundo recorrido subterráneo de estas aguas hasta su emergencia. Tienden a alcanzar el equilibrio con respecto a la calcita y la dolomita (Figura 3.6), pero se encuentran insaturadas con respecto al yeso.



Grupo 7. Está formado por flujos intermedios que drenan acuíferos confinados constituidos por materiales de varias litologías (mezcla), principalmente calizas de la Fm. Artemisa y rocas ultrabásicas de la Asociación Ofiolítica. Presentan temperaturas moderadamente calientes ( $26.3 \pm 2.1$  °C), el pH varía desde neutro a alcalino ( $7.35 \pm 0.18$ ), generalmente altos contenidos de  $\text{CO}_2$  ( $40.1 \pm 14.4$  mg/l) y  $\text{H}_2\text{S}$  disueltos ( $26.1 - 196.9$  mg/l). Las concentraciones de  $\text{Cl}^-$  ( $25.7 \pm 14.0$  mg/l) y de SST ( $715 \pm 241$  mg/l) son también relativamente altas. Estas aguas exhiben altos potenciales redox negativos ( $-238$  a  $-325$  mv) y bajos contenidos de  $\text{O}_2$  disuelto ( $1.2 - 2.7$  mg/l).

Su composición es de tipo  $\text{HCO}_3^-$ -Mixtas siendo los cationes más relevantes:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (Tabla 1), en proporciones dependientes del aporte diferenciado de las areniscas, las calizas y las serpentinitas respectivamente. En las emergencias tienden a encontrarse saturadas con respecto a la calcita y la dolomita (Figura 3.6) e insaturadas con relación al yeso.

Grupo 8. Está representado por flujos intermedios que drenan esquistos, areniscas y calizas de la Fm. San Cayetano. Estas aguas poseen relativamente altas temperaturas ( $27.8 \pm 2.9$  °C), pH alcalino ( $8.00 \pm 0.69$ ), relativamente bajo contenido de  $\text{CO}_2$  ( $20.0 \pm 19.8$  mg/l) y altas concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$  ( $26.1 - 196.9$  mg/l). Los contenidos de  $\text{Cl}^-$  ( $125.3 \pm 67.1$  mg/l) y SST ( $1336 \pm 87$  mg/l) de estas aguas son más altos que los de las aguas anteriormente descritas. Presentan muy altos valores negativos de potenciales redox ( $-238$  a  $-325$  mv) y bajos contenidos de  $\text{O}_2$  disuelto ( $1.2 - 2.7$  mg/l). Las facies hidroquímicas más comunes son  $\text{HCO}_3^- - \text{Na}$  y  $\text{HCO}_3^- - \text{Na} > \text{Cl}$ . Debido a su recorrido relativamente profundo, estas aguas extraen el  $\text{Na}^+$  de los aluminosilicatos en virtud de las relativamente elevadas temperaturas alcanzadas en su descenso. En forma similar también adquieren altos contenidos de  $\text{SiO}_2$ , tal como se aprecia en la tabla 1. Al igual que en el caso anterior, las aguas tienden a la saturación con respecto a la calcita y la dolomita (Figura 3.6) y a la insaturación con relación al yeso, lo cual es indicativo de un efecto poco acentuado del ciclo hidrológico sobre las mismas.

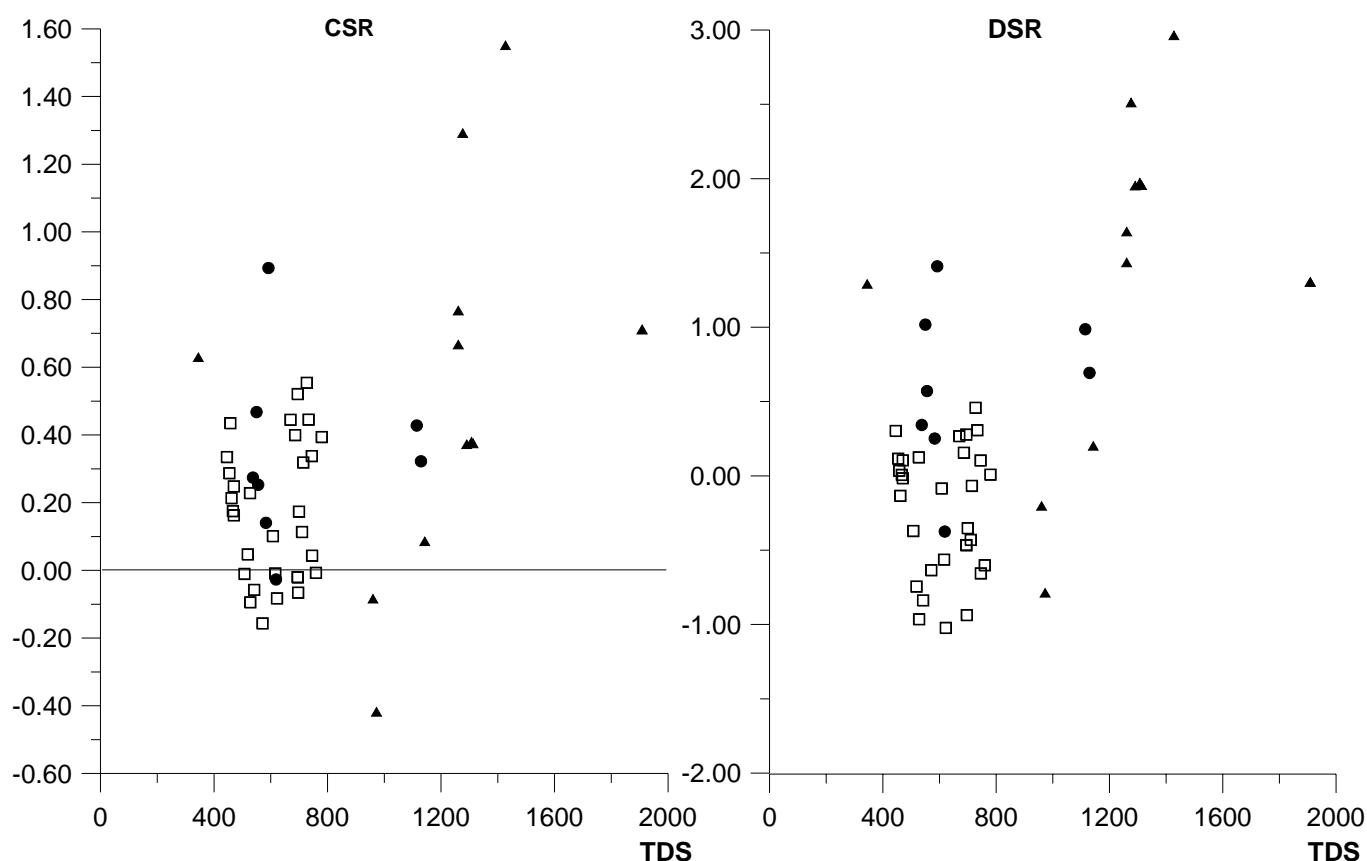


Figura 3.6. Valores de RSC y RSD en función de los SST (TDS). Flujos intermedios que drenan calizas de la Fm. Artemisa (Grupo 6); sedimentos constituidos por mezclas de rocas (grupo 7) y areniscas de la Fm. San Cayetano (Grupo 8).

Grupo 9. Esta integrado por flujos intermedios y regionales que drenan acuíferos confinados constituidos por calizas de la Fm. Artemisa e interactúan con los materiales de los depósitos confinantes, compuestos principalmente por esquistos y areniscas de la Fm. San Cayetano, así como con rocas ultrabásicas de la Asociación Ofiolítica. Estos flujos están asociados a la falla Pinar y otras transversales a la misma, en las cercanías de San Diego de los Baños. Las aguas poseen relativamente altas temperaturas ( $38.7 \pm 6.5$  °C) y sus pH se encuentran cercanos a la neutralidad ( $7.24 \pm 0.28$ ), el contenido de gases disueltos es relativamente alto ( $\text{CO}_2$ ,  $43.3 \pm 12.3$  mg/l; y  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $7.9 - 38.5$  mg/l). La concentración de  $\text{Cl}^-$  disuelto es alto ( $38.7 \pm 11.3$  mg/l), y los contenidos de  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $1297.9 \pm 434.2$  mg/l) y SST disueltos son los mayores encontrados ( $2217 \pm 576$  mg/l). El valor de Eh es altamente negativo ( $-254$  a  $-325$  mv) y el  $\text{O}_2$  disuelto es bajo ( $2.1 - 2.7$  mg/l).

Este grupo es bastante homogéneo, lo cual se aprecia en la poca variación de sus relaciones iónicas (Tabla 1.2). En su recorrido alcanzan grandes profundidades, lo cual se evidencia por las relativamente altas temperaturas, así como los elevados contenidos de cloruro, sulfato, magnesio, sodio y potasio.

Las facies hidroquímicas presentes son:  $\text{SO}_4\text{-Ca}$ ,  $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3\text{-Ca}$  y  $\text{SO}_4\text{-Ca} > \text{Na}$ , y sus relaciones iónicas se corresponden con esta composición (tabla 5). Por lo general se



encuentran saturadas con respecto a la calcita y la dolomita (Figura 3.7) y muy cerca de la saturación con respecto al yeso.

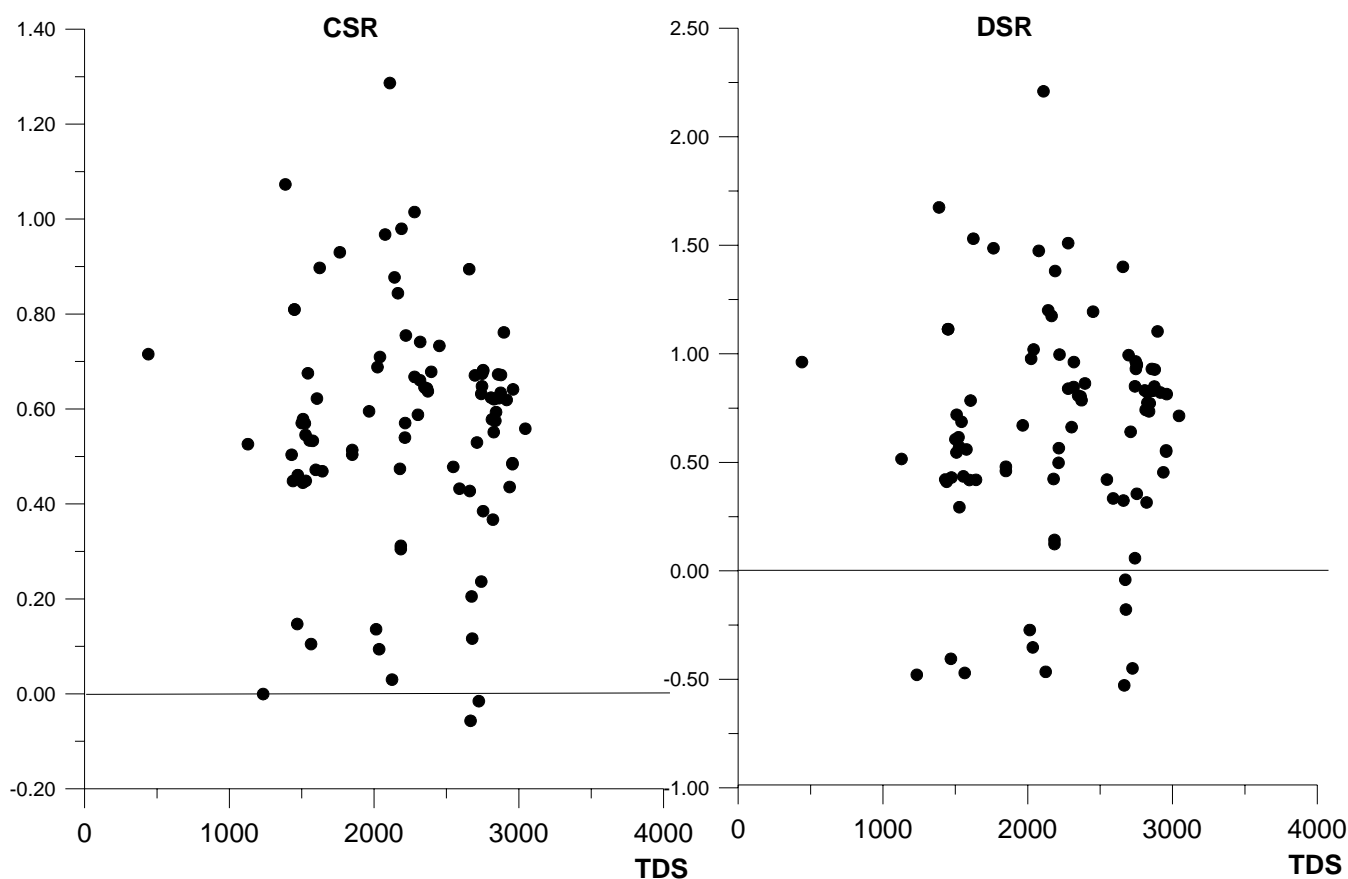


Figura 3.7. Valores de RSC y RSD en función de los SST (TDS). Flujos intermedios y regionales que drenan calizas de la Fm. Artemisa e interactúan con otras litologías.

La ausencia de yeso en los sedimentos tanto de las formaciones carbonatadas como no carbonatadas de la Sierra del Rosario, al menos hasta donde alcanzan las aguas, sugiere que la fuente de sulfato la constituyen las piritas, las que al reducirse originan el  $H_2S$ . El relativamente alto contenido de este gas en las aguas pudiera deberse a que las mismas alcanzan la falla Pinar donde interactúan con los esquistos y areniscas de la Fm. San Cayetano antes de surgir por los manantiales. Como se hace referencia en la literatura, los esquistos son ricos en piritas (Appelo y Postma, 1993). Sin embargo, las propias calizas de la Fm. Artemisa son fétidas (huelan a sulfhídrico cuando se les tritura) y pueden tener  $H_2S$  ocluido, tal como fue demostrado por Émbil (1947). Otra fuente de este gas pudiera atribuirse a la propia materia orgánica presente en los sedimentos. Para esclarecer el origen del sulfhídrico en estas aguas será necesario aplicar técnicas isotópicas en el futuro.

Los procesos microbiológicos que producen  $CO_2$ , reducción de sulfato y oxidación de pirita son más intensos en los flujos intermedios y regionales, originando una disolución adicional de minerales carbonatados. La posición que ocupan los diferentes tipos de aguas en el diagrama de estabilidad Eh-pH se muestra en la figura 4. Mientras que los flujos locales



aparecen distribuidos en el campo de estabilidad del  $\text{SO}_4^{2-}$ , los flujos intermedios y regionales aparecen en los campos de  $\text{Fe}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{HS}^-$ .

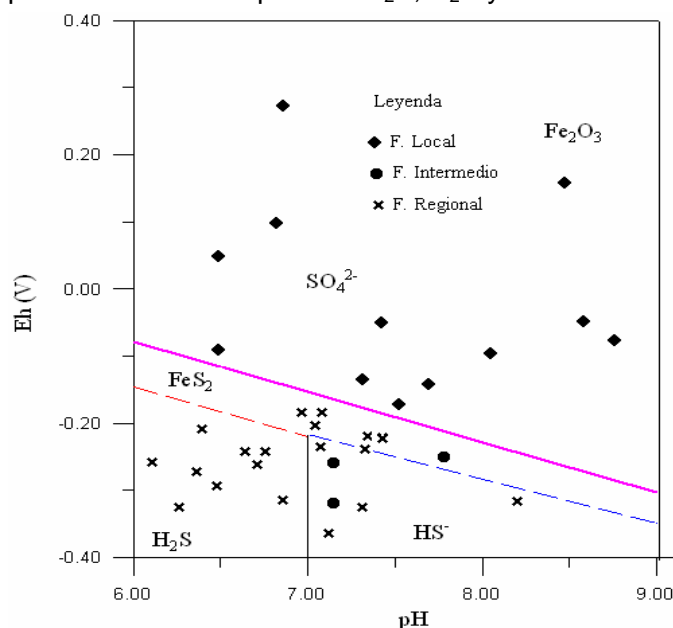


Figura 4. Diagrama de estabilidad Eh-pH

### Temperatura del agua

La temperatura del agua subterránea y los resultados de los análisis químicos de las muestras, cuando se relacionan con el cuadro geológico, sugiere un control de la litología y de la estructura geológica sobre la composición física y química observada. La temperatura de las aguas subterráneas ha sido usada como un indicador del tipo de flujo (Toth, 1995; Carrillo-Rivera et al, 1996) lo cual ha permitido asociar las aguas subterráneas con temperaturas anormalmente altas con flujos regionales, y las bajas temperaturas con flujos de naturaleza local.

La temperatura del agua depende tanto de las condiciones climáticas como geotermiales. Desde la perspectiva del movimiento del agua subterránea, los sistemas kársticos en Cuba son muy dinámicos en términos de tiempo de recorrido, lo cual implica un flujo rápido y baja capacidad de almacenamiento. Esto se refleja localmente por la producción de contrastantes cambios en la temperatura estacional de este tipo de fuente (grupo 3). Se observa así temperaturas en las aguas entre 18 a 24.2 °C entre el invierno y el verano respectivamente en las aguas que drenan las calizas de la Fm. Guajaibón. Esta diferencia de temperatura es más drástica en las aguas que drenan los sedimentos de la Fm. Manacas, donde se han reportado valores desde 17.8 hasta 28.4 °C (Fagundo et al, 1993), lo cual sugiere un menor tiempo de residencia y de capacidad de almacenamiento que la Formación Guajaibón. Estas diferencias están soportadas por los caudales de los manantiales mayores en la Fm. Guajaibón (del orden de 50 a 450 l/s) que en la Fm. Manacas (aproximadamente de 1 l/s). Se considera que estas aguas pertenecen a flujos de naturaleza local, lo cual parece confirmarse por su posición topográfica y características geológicas.

Un comportamiento similar se observa en las aguas someras que drenan los sedimentos ultrabásicos (grupo 2) y el resto de las formaciones calcáreas (grupos 4 y 5). Las que



alcanzan mayores profundidades en su recorrido subterráneo presentan, por lo general, mayores temperaturas en las emergencias que las aguas subterráneas someras. Sin embargo, en las aguas que tienen un recorrido intermedio (grupo 6), no se distingue una dependencia marcada de la temperatura con la profundidad, por lo que es más útil utilizar la temperatura media de los meses más fríos en Cuba (noviembre-marzo) que la temperatura absoluta para inferir el carácter más profundo del agua (Fagundo et al, 1997). Otro método complementario consiste en tomar el valor del coeficiente de variación de la temperatura (tabla 2), el cual es más pequeño en aquellas aguas que alcanzan mayores profundidades y por tanto se encuentran menos sometidas a la acción del ciclo hidrológico. Las aguas más someras por el contrario, poseen mayor fluctuación estacional de su temperatura, lo cual se refleja en un mayor valor del coeficiente de variación de la temperatura.

Tabla 2. indicadores de la variación estacional de la temperatura y de los sólidos disueltos totales (SST) en las aguas de la Sierra del Rosario

No	Grupo	Temperatura						SST					
		N	Tm	CV <sub>Tm</sub>	N	Tmi	CV <sub>tmi</sub>	N	SST	CV <sub>TDS</sub>	N	SSTi	CV <sub>SSTi</sub>
1	1	4	25.5	8.7	1	25.0		4	134	14.6	1	136	
2	1	28	23.3	9.0	13	22.0	7.6	28	407	26.4	13	389	32.6
3	2	6	22.7	5.8	4	22.1	3.4	6	381	17.4	4	396	17.0
4	2	4	23.2	3.2	3	23.0	2.8	4	355	11.0	3	355	
5	3a	9	21.8	1.8	5	21.7	1.6	9					
6	3a	4	22.2	0.8	4	22.2	0.8	4	280	14.4	4	280	14.4
7	3a	4	22.3	2.6	4	22.3	2.6	4	283	5.3	4	283	5.3
8	3b	4	22.2	5.4	4	22.2	5.4	4	358	12.8	4	358	12.8
9	3c	39	22.6	1.9	18	22.3	1.3	39	271	14.0	18	274	10.1
10	3c	38	22.7	1.1	17	22.6	1.5	38	305	13.1	17	294	13.6
11	3c	10	23.2	3.2	6	22.9	2.1	10	345	9.6	6	335	11.3
12	3c	5	22.7	1.5	5	22.7	1.5	5	321	4.9	5	321	4.9
13	5a	18	22.7	0.9	9	22.6	0.7	18	438	7.7	9	429	8.4
14	6	5	24.8	2.6	3	24.5		5	739	5.3	3	745	
15	6	5	22.4	1.6	3	24.0		5	68.2	6.8	3	686	
16	6	9	25.3	5.5	2	24.0		9	473	5.6	2	450	
17	8	4	30.3	1.3	3	30.1		4	1199	4.2	3	1199	
18	9	5	31.3	0.5	1	31.5		5	1518	5.5	1	1528	
19	9	8	36.0	1.0	2	36.1		8	1542		2	1542	
20	9	5	35.8	1.5	0			5	2217	3.0	0		
21	9	9	31.5	1.3	1	32.3		9	2381	10.4	1	2674	
22	9	9	30.0	1.9	9	30.0	1.9	9	2297	3.7	9	2297	3.7
23	9	30	45.8	0.5	0			30	2811	3.2	0		
24	9	5	45.6	1.0	0			5	1526	5.5	0		

1) Manantial La Sed, 2) Sumidero Mamey, 3) Manantial Cajabana 1, 4) Manantial Cajalbana 2, 5) Cueva Lechuza, 6) Cueva Mamey, 7) Cueva Ancón, 8) Cueva Mamey, 9) Manantial Mamey, 10) Surgencia Ancón, 11) Resurgencia Ancón 2, 12) Manantial Fernando, 13) Manantial Mil Cumbres, 14) Manantial La Pastora, 15) Pozo Pedernales, 16) Pozo El Brocal, 17) Pozo P 4, 18) Manantial El Tigre, 19) Manantial El Templado, 20) Manantial La Gallina, 21) Manantial M1, 22) Pozo P 12, 23) Pozo P 1, 24) pozo P 19.

Tm: Temperatura media anual (°C); Tmi: Temperatura media anual de los meses más fríos (°C); SST: valor medio de los sólidos disueltos totales (mg/l); SSTi: valor medio de los sólidos disueltos totales en los meses más fríos (mg/l); C.V.: coeficiente de variación (%).





## Mineralización

La mineralización de las aguas en las emergencias depende del tipo de litología drenada, del tiempo de recorrido subterráneo del flujo, de la profundidad que alcanza el mismo, del contenido de CO<sub>2</sub> disponible en la zona el suelo y las condiciones en que el mismo es tomado por las aguas procedentes de las precipitaciones durante su infiltración (condiciones de sistema cerrado, abierto o mixto). Las aguas más someras presentan una notable variación estacional del coeficiente de variación (C.V.) de la mineralización (total de sólidos solubles), tal como se muestra en la tabla 2. Sin embargo, un valor de C.V. TSS relativamente alto puede obtenerse en aguas profundas que han experimentado mezcla con aguas someras en su ascenso o que al brotar a la superficie han sufrido cambios.

Por lo general las aguas subterráneas en las emergencias pierden parte de los gases disueltos que poseen y experimentan cambios de pH y potencial redox, por lo que son posibles procesos de recombinación iónica que originan precipitación de minerales y disminución del contenido de iones disueltos.

En la tabla 3, se muestra cómo varía la temperatura y algunos contenidos iónicos en pozos y manantiales de la región de San Diego de los Baños – Los Bermejales (Peláez et al, 1990).

Tabla 3. Variación de las propiedades químico-físicas de las aguas del pozo P 1, San Diego de los Baños con la profundidad.

Intervalo de profundidad (m)	T (°C)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	CO <sub>2</sub> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	TDS (mg/l)
0 - 87	26.0	14	10.0	0.0	14.0	354
80 - 120	31.0	21	22.0	9.0	18.1	1376
120 - 200	36.2	21	22.0	9.0	20.0	1870
240 - 280	44.0	29	27.0	28.5	24.0	2955
237 - 320	46.0	33	38.0	39.7	26.7	3331

Los manantiales que emergen en este sitio poseen además apreciables contenidos de Cl, F, Li, Sr y Rn (Tabla 4), lo cual sugiere que corresponden a flujos de largo y más profundo recorrido subterráneo, mayor en las aguas que emergen por San Diego de los Baños que las que lo hacen por Los Bermejales. Esta apreciación es coherente con los resultados obtenidos usando geotermómetros químicos (Fagundo et al, 2001).

TABLA 4. PARÁMETROS QUÍMICO FÍSICOS DE LOS PRINCIPALES MANANTIALES Y POZOS DEL SECTOR HIDROGEOLOGICO SAN DIEGO DE LOS BAÑOS – LOS BERMEJALES.

No	T (°C)	Eh (mv)	O <sub>2</sub> (mg/l)	CO <sub>2</sub> (mg/l)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	F (mg/l)	Li (mg/l)	Sr (mg/l)	Rn (nCi/l)
1	31.5	-317	2.1	44.9	46.8	24.8	34.9				0.23
2	34.5	-254	2.7	46.2	9.5	19.1	33.5	1.1	0.013	1.49	1.04
3	37.4	-325	2.7	46.2	17.3	22.6	40.5	1.1	0.022	2.38	1.25
4	45.8			39.3	27.8	18.4	43.6				1.25

1) Manantial M1, 2) Manantial El Templado, 3) Manantial La Gallina, 4) Pozo 1.

## Sistema de flujos y composición química de las aguas

Partiendo de la composición química de las lluvias locales y tomando en consideración los grupos definidos anteriormente sobre la base de sus propiedades químico-físicas y su



relación con las características litológicas y estructurales del medio drenado, se pueden establecer 7 líneas de flujo:

1. Lluvia – Flujos locales e intermedios que drenan sedimentos compuestos de esquistos y areniscas de la Fm. Mancas.
2. Lluvia – Flujos locales e intermedios que drenan sedimentos constituidos por rocas ultrabásicas de la Asociación Ofiolítica.
3. Lluvia – Flujos locales e intermedios que drenan sedimentos carbonatados de la Fm. Guajaibón.
4. Lluvia – Flujos locales e intermedios que drenan sedimentos carbonatados de la Fm. Sierra Azul e interactúan con sedimentos de la Fm. Cacarájara.
5. Lluvia – Flujos locales e intermedios que drenan sedimentos de diferente constitución (mezclas): calizas, esquistos y areniscas y rocas ultrabásicas.
6. Lluvia – Flujos locales e intermedios que drenan esquistos y areniscas de la Fm. San Cayetano.
7. Lluvia – Flujos locales, intermedios y regionales que drenan calizas de la Fm. Artemisa y en su trayectoria final interactúan con rocas ultrabásicas (Asociación Ofiolítica) y esquistos y areniscas (Fm. San Cayetano).

La primera línea de flujo de lugar a aguas frías del tipo bicarbonatadas cálcicas sódicas desde mediana a moderada mineralización en dependencia de la naturaleza del flujo. La relación entre sus iones y el TDS puede ser evaluada a partir de la matriz de correlación de los datos conjuntos del grupo 1 y la lluvia (Tabla 5.1). Las correlaciones más significativas ( $r > 0.84$ ,  $N = 39$ ) se obtienen entre  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y SST, y las menos significativas se obtienen con la temperatura (T).

Tabla 5.1. Matriz de correlación. Línea de flujo: Lluvia – Fm. Manacas (Grupo 1).

N = 40	T	Cl	$\text{HCO}_3$	$\text{SO}_4$	Ca	Mg	Na	SST
T	1	0.12	-0.07	0.01	-0.05	-0.10	0.07	-0.06
Cl		1	0.84	0.29	0.83	0.79	0.79	0.85
$\text{HCO}_3$			1	0.38	0.96	0.84	0.91	0.92
$\text{SO}_4$				1	0.83	0.22	0.51	0.44
Ca					1	0.72	0.86	0.97
Mg						1	0.71	0.83
Na							1	0.92
TDS								1

La segunda línea de flujo que da lugar a aguas del tipo bicarbonatadas magnesianas frías. Sus componentes químicos están relacionados entre sí tal como se muestra en la tabla 5.2. Las correlaciones más significativas ( $r > 0.89$ ,  $N = 17$ ) en este caso son entre  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y SST y no se obtienen buenas correlaciones con T.

Tabla 5.2. Matriz de correlación. Línea de flujo: Lluvia – Asociación Ofiolítica (Grupo 2).

N = 21	T	Cl	$\text{HCO}_3$	$\text{SO}_4$	Ca	Mg	Na	SST
T	1	0.36	0.31	0.05	-0.15	0.37	-0.01	0.30
Cl		1	0.90	0.15	-0.00	0.92	0.98	0.89
$\text{HCO}_3$			1	0.32	-0.02	0.99	0.48	1.00
$\text{SO}_4$				1	0.10	0.33	0.73	0.39
Ca					1	-0.07	0.40	0.00
Mg						1	0.42	0.99
Na							1	0.53
TDS								1



La tercera línea de flujo rinde aguas del tipo bicarbonatadas cálcicas frías. La matriz de correlación de datos que se presenta en la tabla 5.3, indica que  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y SST correlacionan bien entre sí ( $r > 0.90$ ,  $N = 133$ ), mientras que, al igual que en los casos anteriores, son malas las correlaciones con T.

Tabla 5.3. Matriz de correlación. Línea de flujo: Lluvia – Fm. Guajaibón (Grupo 3).

N = 133	T	Cl	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4$	Ca	Mg	Na	SST
T	1	-0.07	0.03	0.11	0.00	0.04	0.09	0.04
Cl		1	0.41	0.06	0.48	0.21	0.23	0.47
$\text{HCO}_3^-$			1	0.15	0.92	0.44	0.52	0.98
$\text{SO}_4$				1	0.23	0.06	0.46	0.31
Ca					1	0.22	0.33	0.93
Mg						1	0.11	0.40
Na							1	0.58
TDS								1

La cuarta línea de flujo, que da lugar también a aguas del tipo Ca -  $\text{HCO}_3$ , puede ser también caracterizada a partir de la correspondiente matriz de correlación de datos (Tabla 5.4). Las correlaciones más significativas ( $r > 0.90$ ,  $N = 10$ ) se obtienen entre  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , SST y  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Na}^+$  y Cl<sup>-</sup>. A pesar de que las correlaciones con T no son significativas, sí se obtienen buenas correlaciones si sólo se toman las temperaturas de los meses más fríos (desde noviembre a marzo). En este caso correlacionan significativamente con la temperatura ( $r = 0.93$ ,  $N = 7$ ): Cl<sup>-</sup>,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y SST. Estos resultados indican que las aguas que emergen por los manantiales relacionados con la Fm. Cacarajícara, corresponden al drenaje más profundo del sistema kárstico de Sierra Azul. Si también se incluyen en la matriz los datos de las temperaturas (meses más fríos) de las aguas del grupo 3, se obtiene un resultado similar al anterior, por lo que pudiera inferirse que parte de las aguas que drenan el macizo del Pan de Guajaibón también aportan al drenaje profundo del sistema Sierra Azul.

Tabla 5.4. Matriz de correlación. Línea de flujo: Lluvia – Fm. Sierra Azul – Fm. Cacarajícara (Grupo 4).

N = 12	T	Cl	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4$	Ca	Mg	Na	SST
T	1	0.31	0.28	0.31	0.27	0.31	0.34	0.29
Cl		1	0.96	0.62	0.95	0.95	0.79	0.96
$\text{HCO}_3^-$			1	0.68	1.00	0.95	0.82	1.00
$\text{SO}_4$				1	0.68	0.68	0.92	0.73
Ca					1	0.94	0.81	1.00
Mg						1	0.77	0.77
Na							1	0.85
TDS								1

La quinta línea de flujo que da lugar a aguas bicarbonatadas mixtas ligeramente templadas ( $\text{Ca} > \text{Na} - \text{HCO}_3$ ;  $\text{Ca} > \text{Na} - \text{HCO}_3$ ;  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} - \text{HCO}_3$ ) es caracterizada mediante la matriz de correlación de datos que aparece en la tabla 5.5. La correlación más significativa ( $r > 0.90$ ,  $N = 11$ ) se obtiene entre  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y TDS. Con respecto a la temperatura, correlacionan en forma altamente significativa ( $r > 0.67$ ,  $N = 11$ ) el ion  $\text{HCO}_3^-$  y de manera significativa ( $r > 0.60$ ,  $N = 11$ ), los iones Cl<sup>-</sup>,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y el SST, lo cual es indicativo del carácter controlador de la profundidad en este tipo de agua.



Tabla 5.5. Matriz de correlación. Línea de flujo: Lluvia – Mezcla de litologías (Grupo 7).

N = 14	T	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	SST
T	1	0.60	0.67	0.13	0.63	0.58	0.60	0.63
Cl		1	0.50	0.50	0.73	0.46	0.54	0.60
HCO <sub>3</sub>			1	0.23	0.89	0.97	0.96	1.98
SO <sub>4</sub>				1	0.55	0.19	0.39	0.39
Ca					1	0.81	0.88	1.94
Mg						1	0.92	0.95
Na							1	0.98
TDS								1

La sexta línea de flujo rinde aguas del tipo bicarbonatadas sódicas. Las correlaciones más significativas ( $r > 0.90$ ,  $N = 14$ ) se obtienen entre HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y SST (Tabla 5.6). Con respecto a la temperatura la mayor correlación ( $r > 0.76$ ,  $N = 14$ ) se obtiene con el Na<sup>+</sup>, aunque si se consideran sólo las temperaturas de los meses más fríos, se obtienen buenas correlaciones ( $N > 0.84$ ,  $N = 7$ ) además con Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y SST. Estas aguas alcanzan relativamente altas temperaturas con la profundidad, donde se disuelven mayores proporciones Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> y SiO<sub>2</sub>.

Tabla 5.6. Matriz de correlación. Línea de flujo: Lluvia – Fm. San Cayetano (Grupo 8).

N = 17	T	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	SST
T	1	0.60	0.67	0.62	0.22	0.43	0.76	0.69
Cl		1	0.91	0.42	0.76	0.82	0.90	0.91
HCO <sub>3</sub>			1	0.67	0.74	0.92	0.98	1.00
SO <sub>4</sub>				1	0.43	0.58	0.72	0.71
Ca					1	0.82	0.65	0.74
Mg						1	0.85	0.90
Na							1	0.99
TDS								1

La séptima línea de flujo da lugar en su recorrido subterráneo a aguas de los tipos Ca – HCO<sub>3</sub>, Ca – HCO<sub>3</sub> – sulfídrica, Ca – SO<sub>4</sub> > HCO<sub>3</sub>, Ca – SO<sub>4</sub> y Ca > Na – SO<sub>4</sub>. La matriz de correlación de datos correspondiente (Tabla 5.7) muestra que las mayores correlaciones ( $r > 0.90$ ,  $N = 155$ ) se obtienen entre SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y TDS, aunque también se obtienen buenas correlaciones ( $r > 0.80$ ,  $N = 155$ ) entre SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup> y SST. Las correlaciones con la temperatura son altamente significativas ( $r > 0.80$ ,  $N = 155$ ) con SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y SST. Entre el HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y el SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no hay buena correlación y coeficiente de correlación correspondiente tiene signo negativo, indicando que mientras el segundo ion se incrementa el primero decrece. De este comportamiento se infiere que, en esta línea de flujo, con la profundidad las aguas van pasando de bicarbonatadas cálcicas a sulfatadas cálcicas.

Tabla 5.7. Matriz de correlación. Línea de Flujo: Lluvia – Fm. Artemisa – Ofiolitas - Fm. San Cayetano (Aguas Termales CA-So<sub>4</sub> (Grupos 5, 6 y 9)).

N = 161	T	Cl	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	SST
T	1	0.41	-0.47	0.87	0.89	0.85	0.64	0.86
Cl		1	0.13	0.46	0.49	0.52	0.48	0.99
HCO <sub>3</sub>			1	-0.51	-0.43	-0.42	-0.30	-0.41
SO <sub>4</sub>				1	0.99	0.97	0.84	0.99
Ca					1	0.97	0.77	0.99
Mg						1	0.75	0.97
Na							1	0.85
TDS								1

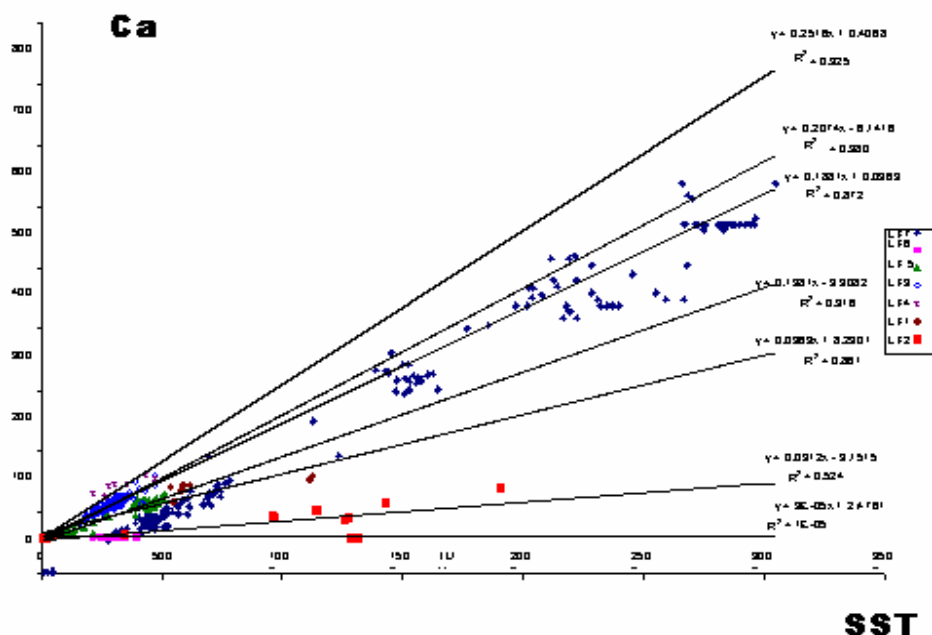


Figura 5. Relación entre la Concentración de calcio y SST en las aguas de la Sierra del Rosario. (L F: Línea de flujo).

Del análisis global de los resultados puede establecerse que la relación entre el ion  $\text{Ca}^{2+}$  y el SST puede ser utilizada como indicador de la evolución de las aguas estudiadas a través de las diferentes líneas de flujo, desde las partes más someras de los diferentes tipos de acuíferos hasta las partes más profundas (donde son mayores la temperatura y el contenido gases y de iones disueltos). En la figura 5 se muestran las correspondientes tendencias. Como puede apreciarse, la mayor contribución del ion calcio a la mineralización total del agua ocurre en la línea de flujo 7 (Lluvia - Fm. Artemisa – Ofiolitas - Fm. San Cayetano) y va disminuyendo esta contribución en el siguiente orden de líneas de flujos: 3 (Lluvia - Fm. Guajaibón), 4 (Lluvia - Fm. Sierra Azul Fm. Cacarájicara), 1 (Lluvia - Fm. Manacas), 5 (Lluvia - Mezcla), 6 (Lluvia - Fm. San Cayetano) y 2 Lluvia - (Asociación Ofiolítica).

A partir de los resultados obtenidos se puede establecer el modelo de evolución química de las aguas que se muestra en la figura 6. Como puede observarse en esta figura, en todos los casos se aprecia un aumento progresivo de los parámetros químico-físicos ( $\text{T}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}$ ) desde las lluvias hasta los miembros finales de cada formación rocosa, a través de las líneas que conectan los flujos locales, intermedios y regionales correspondientes.

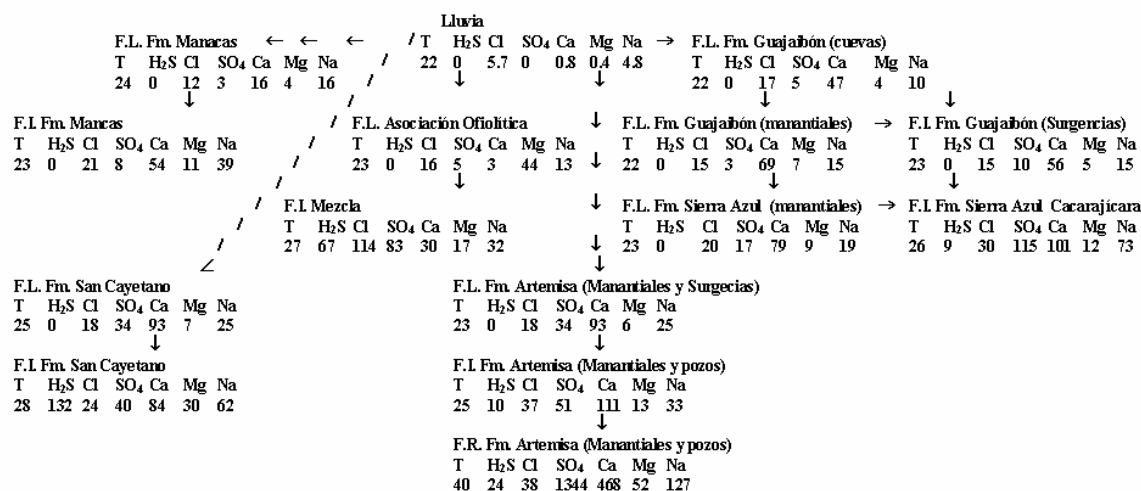


Figura 6. Sistema de flujos de la Sierra del Rosario (temperatura en °C; concentraciones iónicas aproximadas en mg/l).

## CONCLUSIONES

El procesamiento mediante modelos estadísticos, químico-físicos e hidrogeoquímicos de 376 datos de análisis químico de aguas muestreadas en la Sierra del Rosario entre 1984 y 2001, permitió establecer el comportamiento geoquímico de 8 grupos de aguas seleccionados previamente sobre la base de los diferentes medio ambientes geológicos drenados. Las características de los diferentes flujos (locales, intermedios y regionales) y sus interacciones con los materiales acuíferos (calizas, rocas ultrabásicas y esquistos y areniscas) fueron interpretadas a partir de los parámetros químico-físicos, relaciones iónicas y otros índices geoquímicos relacionados con el equilibrio de las aguas respecto a los minerales calcita, dolomita y yeso.

En general, se encontró que las aguas de corto recorrido (flujos locales), poseen en sus emergencias temperaturas frías, un ambiente oxidante (altos valores de Eh y O<sub>2</sub> disuelto), pH neutro (carbonatos) o alcalino (rocas ultrabásicas, esquistos y areniscas), bajo contenido de CO<sub>2</sub> y de minerales disueltos, así como ausencia de H<sub>2</sub>S. Durante el año las aguas suelen estar unas veces insaturados con respecto a la calcita y la dolomita (períodos lluviosos), mientras que en otras ocasiones se encuentran saturadas con respecto a la calcita y la dolomita (períodos secos).

Las aguas con un más largo y profundo recorrido subterráneo (flujos regionales), por el contrario, poseen en sus emergencias: temperaturas relativamente altas, un ambiente reductor (bajos valores de Eh y O<sub>2</sub> disuelto), el pH es ácido o neutro, elevados contenidos de gases disueltos (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Rn), así como de macro (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, SiO<sub>2</sub>) y microcomponentes (F, Li, Sr), cuyas proporciones recíprocas varían en dependencia del material acuífero y de las capas menos permeables con las cuales interactúan. Tienden a encontrarse saturadas o sobresaturadas con respecto a la calcita y la dolomita y cerca de la saturación respecto al yeso.





Las aguas con un recorrido de extensión y profundidad intermedio entre las dos anteriores (flujos intermedios) poseen parámetros químico-físicos e índices geoquímicos cuyas magnitudes son intermedias entre ambos tipos de aguas.

Todas las aguas procedentes de diferentes tipos de acuíferos en la Sierra del Rosario, que emergen desde diferentes profundidades son de origen meteórico. A partir de las lluvias se pueden establecer 7 líneas de flujos cuya evolución es posible caracterizar por el creciente incremento de la temperatura y los contenidos de gases e iones disueltos.

Mediante la metodología empleada quedó demostrado, que en la Sierra del Rosario, la litología y estructura locales, controlan el modo en que las aguas adquieren su composición química.

## BIBLIOGRAFÍA

Alvarez, E., J.R. Fagundo, 1991. SAPHIQ, un sistema para el procesamiento automatizado de datos hidroquímicos. *Revista CENIC Ciencias Químicas* (La Habana), 22 (1): 59-65.

Appelo, C.A., J.D. Postma, 1993. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Rotterdam: Ed. Balkema, 536p.

APHA-AWWA-WPCF, 1989. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17 ed. Washington: Ed. APHA, AWWA, WPCF, 236p.

Carrillo-Rivera, J.J Cardona, B., D. Moss, 1996. Importance of the vertical component of groundwater flow: a hydrogeochemical approach in the valley of San Luis Potosí, México. *Journal of Hydrology* (USA), 185: 23-44.

Émbil, J., 1947. El ácido sulfhídrico de las aguas medicinales de San Diego de los Baños y su posible relación con las calizas fétidas de donde brotan. *Archivos del Instituto Nacional de Hidrología y Climatología Médicas* (La Habana), 1 (4): 17-20.

Ergorov, S.V., J.R. Luege, 1967. *Hidrogeología de Cuba*. La Habana: INRH-ICRM, 84p.

Fagundo, J.R., J.J. Valdés, J. Rodríguez, J.M. Pajón, A. de la Cruz, A. García, M. Pulina, 1986. Estudio preliminar sobre el proceso de denudación cársica en el polígono cubano-polaco del Pan de Guajaibón. *Voluntad Hidráulica* (La Habana), 70/71: 11-15.

Fagundo, J.R., J.E. Rodríguez, J.M. Pajón, E. Franco, G. Benítez, A.C. Rodríguez, J. Güerón e I. Abelló, 1993. Caracterización hidroquímica de las aguas del Pan de Guajaibón y otras áreas cársicas cercanas a la Sierra del Rosario. En: Libro de Comunicaciones I Taller sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Matanzas 1992. Castellón (España): Universidad Jaume I, 11p.

Fagundo, J.R., J.E. Rodríguez, 1995. Contribución al conocimiento hidrodinámico de los sistemas cársicos del Pan de Guajaibón y la meseta del Guaso a partir de datos hidroquímicos durante las crecidas. En: El Karst y los acuíferos Kársticos, ejemplos y métodos de estudio. Granada (España): Universidad de Granada, 17p.

Fagundo, JR, JE, Rodríguez, V. Ferrera, P González, 1997. Geoquímica de acuíferos cársicos de la Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba. En: Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba. Bilbao (España): LANKOPY, SA, Universidad del País Vasco, 15p.

Fagundo, J.R., J.E. Rodríguez, J. Vega, J.E. Pajón, 1998. Estudio del desarrollo de la carsificación a partir de las respuestas naturales en las emergencias en Memorias Geología y Minería'98. La Habana: Centro Nacional de Ingeniería Geológica, I.G.P., 4p.

Fagundo, J.R., P. González, M. Suárez, J. Fagundo-Sierra, C. Melián y M. Llerena, 2000a. Origen de la composición química de las aguas naturales y minerales procedentes de acuíferos carbonatados de la Sierra del Rosario. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* (La Habana), 1: 198-203.



Fagundo, J.R., J.R., P. González, M. Suárez, J. Fagundo-Sierra, C. Melián, M. Llerena y L. Sánchez, 2000b. Origen de la composición química de las aguas naturales y minerales procedentes de acuíferos no carbonatados de la Sierra del Rosario. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* (La Habana), 1: 204-210.

Fagundo, J.R., P. González, M. Suárez, J. Fagundo-Sierra, L. Sánchez, B. Peña, C. Melián, 2001. Origen de la composición química de las aguas del sistema hidrotermal San Diego de los Baños-Los Bermejales, Pinar del Río. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* (La Habana), 2: 11p.

Fagundo, J.R., P. González, M. Suárez, L. Sánchez, B. Peña, 2001. Estimación de la temperatura de los acuíferos profundos del Sistema Hidrotermal San Diego de los Baños-Bermejales. IV Congreso de Geología y Minería, Ingeniería Geológica e Hidrogeología, Memorias GEOMIN 2001, La Habana, 2: 10p.

Fagundo, J. R., P. González, M. Suárez, C. Melián, J. Pajón, J. Fagundo-Sierra, 2003. Hidrogeoquímica de los flujos locales, intermedios y regionales de la Sierra del Rosario, Pinar del Río. V Congreso de Geología y Minería, Ingeniería Geológica e Hidrogeología, Memorias GEOMIN 2003, La Habana, 3: 16p.

Fagundo-Sierra, J., J.R. Fagundo, P. González, M. Suárez, 2001. Modelación de las aguas naturales. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* (La Habana), 2: 10p.

Fagundo-Sierra, J., J.R. Fagundo, P. González, M. Suárez, C. Melián, 2002. Sistema de base de datos de aguas minerales y mineromedicinales (TERMADAT). *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* (La Habana), 3: 10p.

Franco, E., J.R. Fagundo, J.M. Pajón, 1987. Resultados de los estudios hidroquímicos realizados en el Pan de Guajaibón en el período Enero 28 a Febrero 17 de 1986. *Revista Ciencias de la Tierra* (La Habana), 11: 17p

González, P., M. Suárez, G. Benítez, J. Ramírez y J.R. Fagundo, 2000. Caracterización de aguas minerales de algunos yacimientos del país. *Le Monde du Thermalisme* (París, Francia), 4: 14-15.

González, P., M. Llerena, M. Suárez, J.R. Fagundo, C. Melián, B. Luna, I. Herrera, 2001. Sectorización de las aguas naturales y mineromedicinales de las montañas de la Sierra del Rosario y las Alturas del Mariel. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* (La Habana), 2: 10p.

González, P., B. Peña, J. R. Fagundo, F. R. Delgado, M. Suárez, C. Melián, 2002. Aguas mineromedicinales en el occidente de Cuba. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* (La Habana), 3: 11p.

Llerena, M., P. González, J. R. Fagundo, M. Suárez, C. Melián, 2001. Aguas naturales, minerales y mineromedicinales de la Sierra del Rosario y las Alturas del Mariel. Regionalización de acuerdo a su tipo hidroquímico, mineralización, temperatura y uso terapéutico. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental* (La Habana), 2: 10p.

Markowicz, M., M. Pulina, 1979. Ilościowa polimikroanaliza chemiczna wód w obszarach krasu weglanowego. Sosnowicw, Polonia. University Slaskiego, 54p.

Peláez, R, M. Olivares, M. del C. Núñez, y M. Valdivia, 1990. Informe sobre la búsqueda detallada y exploración orientativa de las aguas minero-medicinales San Diego Bermejales. Ministerio de la Industria Básica, Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, 159p.

Peláez et al. 1998, Empresa Pinar del Río, Dirección Provincial de Planificación y Empresa Geólogo Minera del MINBAS, Pinar del Río. Marzo: 16p.

Peña, B., J. R. Fagundo, F.R. Delgado, L. Orbera, 2001. Caracterización de fuentes minerales en el Distrito Físico Geográfico Pinar del Río, Cuba. IV Congreso de Geología y Minería, Ingeniería Geológica e Hidrogeología, Memorias GEOMIN 2001. La Habana, 9p.

Pulina, M., J.R. Fagundo, 1984. The Dynamic of the Contemporary Karstic Processes in the Tropical Area of Cuba. Preliminary report of the field investigations performed by the Expedition Guajaibon' 84 in the winter season 1984. Sosnowiec, Polonia: Universidad Slaski, 42p.



Pulina, M., J.R. Fagundo, 1992. Tropical karst and chemical denudation of western Cuba. *Geographia Polonica* (Varsovia, Polonia), 60: 195-216.

Pszczolkowski, A., 1978. Geosynclinal sequences of the Cordillera de Guaniguanico in western Cuba, their lithostratigraphy, facies development and paleogeography. *Acta Geológica Polónica* (Varsovia, Polonia), 28 (1) 1-96.

Rodríguez, J.E., J.R. Fagundo, F. Cutié, C. Cruz y E. Franco, 1989. Hidrología cársica del macizo del Pan de Guajabón, Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba, durante el año hidrológico Noviembre de 1984-Octubre de 1985. La Habana: Ed. Academia, 60 p.

Rodríguez, J.E. y J.R. Fagundo, 1995, Hydrology and dynamics of tropical karst processes in Cuba. *Studia Carsologica* (Brno, Checoslovaquia), 6: 42- 54.

Trelles, F, 1948. Análisis de algunas de las aguas minero-medicinales cubanas estudiadas por este Instituto. *Archivos del Instituto de Hidrología, Climatología Médicas* (La Habana), 2 (2): 171-184.

Tóth, J., 1995. Groundwater as a geological agent. An overview of the causes, processes and manifestations. *Hydrogeology Journal* (Springer), 7: 1-14.



## VULNERABILIDAD EN ACUIFEROS COSTEROS

**MSc. Estrella Santa Cruz Pérez .Especialista en Investigaciones Aplicadas**

*EPROB, Isla de la Juventud 32- 4107/ 4363/ 4966. NC.51070212618 estrella@dij.co.cu*

### RESUMEN

El presente trabajo se dirige hacia control y protección de los puntos vulnerables en un tramo hidrogeológico costero, su seguimiento se hace obligatorio y exige de etapas de estudio, proyectos y ejecución de obras ingenieriles inmediatas, con la finalidad de mitigar los efectos, irreversibles que causa la intrusión salina en Islas Costeras. El "Recurso Agua", en la difícil condición que se propicia en las islas costeras, por la fragilidad que presentan los espesores de agua dulce y la vulnerabilidad de los mismos, resulta , de reservado interés el ejecutar proyectos que garanticen la estabilidad de este recurso como fuente de energía.

### INTRODUCCION

La vulnerabilidad en las obras ingenieriles, introduce un concepto de protección integral de los distintos aspectos que inciden en la permanencia, la estabilidad escalonada de las distintas etapas de desarrollo de la misma, fijando la atención en los procesos que interactúan en las mismas. Para nosotras ambientalistas, el medio, el recurso, su contexto, su reverso, constituyen nuestro escenario para enfrentar estos conceptos.

*Objetivos específicos:*

- Crear un diseño mediante pozos de infiltración que actúen como barrera y control de los puntos vulnerables del tramo costero de la Subcuenca El Abra en la Isla de la Juventud. Identificando dentro del tramo, una zona acumulativa, fértil, protegida, con buena calidad y cantidad de agua subterránea y una zona de infiltración de las aguas intrusionadas provenientes del Río Las Casas como zona de descarga.

### DESARROLLO

#### 1. Antecedentes

Los antecedentes bibliográficos y experiencias sobre el establecimiento de barreras que sirvan como diseños de recarga al manto subterráneo datan de mas de 20 años, aun así, estos no son muy abundantes y sí muy específicos, por lo costoso y de muy novedoso el tratamiento de vulnerabilidad en estos.

Recientemente, en abril del 2002 se efectuó en Cuba, en Ciudad de la Habana, CUJAE, en coordinación con el CYTED: Red de Vulnerabilidad de Acuíferos, el Segundo Seminario – Taller con el tema: Protección de acuíferos frente a la contaminación (Caracterización y Evaluación). Evaluación de la vulnerabilidad en sistemas fisurados, por el Dr. Jorge Montaña Xavier. UDELAR. Uruguay. En nuestro caso, pudimos obtener información y analizar los métodos de trabajos tratados en su trabajo y orientarnos con los principios que estos brindan al grupo de estudios realizados hacia la clasificación, que define la vulnerabilidad de los acuíferos y en especial en como proyectarnos y zonificar el Tramo hidrogeológico de la Subcuenca El Abra en la Isla de la Juventud.



## 2. Materiales y métodos

Para enfrentar el presente proyecto se acometen un conjunto de métodos que se precisan en cada etapa de trabajo y diversos materiales que nos llevan a encaminar los resultados esperados, siendo estos:

- ✓ Estudios Preliminares o de Reconocimiento.
- ✓ Estudios de detalle
- ✓ Los Estudios de Vulnerabilidad de sistemas fisurados que pueden enfocarse sobre dos variables principales:

A. Geometría el sistema acuífero fisurado (SAF)

B. Zona no saturada

Como metodología de estudio se considera dos situaciones:

Zonas sin antecedentes de pozos

Zonas con antecedentes de pozos

Como primer paso se desarrollan, los estudios directos e indirectos aplicados en el caso de zonas sin antecedente. La presencia de pozos en acuíferos fisurados produce perturbación en el sistema mucho más importante que en los sistemas porosos. Esto es debido a que los pozos en los SAF además de funcionar como captación hidráulica sirven para conectar estructuras (fracturas, fallas), portadoras de agua con potenciales hidráulicos diferentes. Esta situación es frecuente en los medios discontinuos y por ello aun sin bombeo, puede existir circulación vertical dentro del pozo.

Zona no saturada (ZNS)

La zona no saturada comprende desde la superficie del suelo hasta el nivel saturado o comienzo del acuífero. Por las diferencias en el comportamiento físico y químico de las diferentes (ZNS) y su papel amortiguador frente al pasaje de los contaminantes se detalla sus características principales y su incidencia en la vulnerabilidad del sistema, siendo estas:

- Suelo
- Amortiguación Química
- Amortiguación Física
- Zona geológica no saturada

Cuando esta compuesta por materiales de baja permeabilidad, se crea cierto confinamiento protector de las aguas subterráneas. Los parámetros más importantes que caracterizan a esta zona son: Espesor, litología y permeabilidad vertical.

## 3. Análisis de los resultados

⇒ Estudio Preliminar

Características del área de estudio.

El área de estudio en el municipio especial Isla de la Juventud, abarca unos 5,56 km<sup>2</sup>, geográficamente limita al Norte con la ciudad de Nueva Gerona, al Sur con el embalse Casas II (El Mamey), al Este con el río y al Oeste con la Sierra de Las Casas.

Zonas hidrogeológicas.

De los estudios del tramo resulta la zonificación de tres grandes zonas, (Ver Anexo N° 1) bien definidas siendo estas:



### ➤ Zona de alimentación. Sierra Las Casas.

La zona de alimentación la compone en su generalidad la Sierra de Las Casas aquí, los dos elementos estructurales principales, establecen algunas condiciones geólogo - estructurales que definen el esquema de la relación hidráulica que se establece entre esta y la Cuenca Gerona pudiéndose definir los resultados siguientes:

1. El rol fundamental en el relieve es juzgado por la tectónica regional que establece condiciones en el medio físico subterráneo.
2. La inclinación de las capas facilita la condición de una zona de retención como Zona Saturada donde los valores de  $T$ , y  $K_f$  hacia la parte oeste y este se identifican con los elementos estructurales.
3. El graben del Abra actúa como forma negativa de relieve, como un conducto cársico que establece un comportamiento continuo en el llamado drenaje subterráneo truncado, propio de estos cerros y de forma inversa controla e impide el desarrollo de un drenaje superficial casi inexistente, en la porción donde se ubica por lo que se impone como un elemento de barrera.
4. La Sierra Las Casas se presenta en el tramo como una abertura del sistema de alineación de la misma que facilita el camino de la fuente de alimentación principal, las precipitaciones, seguido y mediante la circulación cársica que complementa el esquema de conducción, observándose mediante el goteo de las paredes como se produce la alimentación en la cuenca.
5. A pesar de la estructura monótona del mogote si existen diferencias entre las redes de grietas y cavidades, esto produce un comportamiento anisotrópico en la circulación de las aguas que se infiltran.

### ➤ Zona de acumulación. Subcuenca El Abra.

#### Geología.

La zona de mayor acuosidad de las rocas está relacionada con rocas marmólicas carsificadas, zonas de fallas permeables y rocas agrietadas y/o fracturadas. El gran contenido de arcilla en el corte geológico evidencia la presencia de un acuífero de rendimientos bajos a medios, en términos generales se puede considerar esta corteza de intemperismo eluvial como un acuitardo.

#### Comportamiento de los parámetros hidrogeológicos en la zona de acumulación

Tabla No.1

POZO	NORTE	ESTE	cota (m)	prof. (m)	N. EST. (m)	N. DIM. (m)	Abat. (m)	Gasto (L/s)	Gast. Esp (L/s.m)	Usuario	servicio
<b>G-12</b>	228150	312800	14,90	21,6	11,50	14,70	3,20	20	6,25	Acueducto.	no
<b>G-13</b>	228300	313400	11,10	23,00	2,15	10,70	8,55	3	0,35	Acueducto.	si
<b>G-14</b>	227650	312790	15,40	26,50	9,90	12,00	2,10	25	11,91	Acueducto.	si
<b>G-15</b>	227270	312560	17,90	26,00	8,15	12,25	4,10	20	4,88	Acueducto.	temporal
<b>G-25</b>	226135	312730	11,30	20,00	3,00	7,40	4,40	10	2,27	Agricultura.	si
<b>G-27</b>	225500	312630	12,40	22,00	3,60	7,40	3,80	20	5,26	-	no
<b>G-48</b>	225488	312026	14,40	24,00	4,57	5,84	1,27	20	15,75	Acueducto.	si
<b>G-78</b>	225260	312026	13,40	25,00	5,00	9,50	4,50	32	7,11	Acueducto.	si
<b>G-127</b>	226563	312446	12,39	23,00	7,00	14,00	7,00	50	7,14	Acueducto.	si





Las transmisividades acuíferas oscilan entre 400 y 6 000 m<sup>2</sup> / día, los gastos específicos (q) de los pozos reflejan la buena productividad de los mismos por metros de abatimientos, estos llegan hasta los 11.00 L/ s.m.

### Caracterización físico – químico.

El agua subterránea en toda esta área se clasifica como agua bicarbonatada - cálcica. Hacia la desembocadura del río, los resultados batométricos evidencian una ligera manifestación de intrusión salina, donde la línea de interfaces de 1g/l se encuentra a una profundidad media de 10 m.

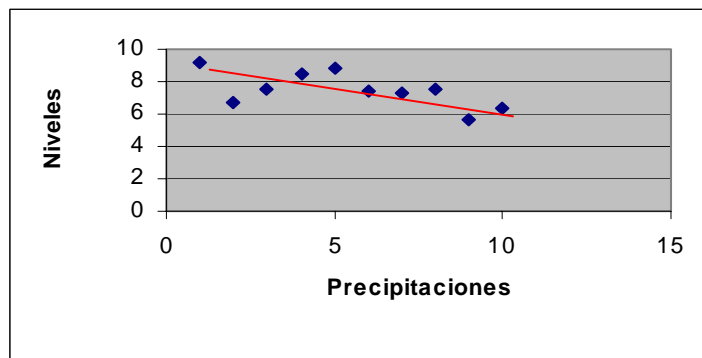
Tabla No. 2 Promedios de las características físicas / químicas de los pozos del tramo en su momento crítico (Periodo seco)

Pozos	Ce	pH	HCO <sub>3</sub>	CL	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	SST
G – 13	1431	6.9	237	289	34	105	18	142	2	844
G –14	1068	7.0	217	194	27	112	11	84	1	641
G –15	1016	6.8	227	169	28	118	10	64	1	605
G- 48	2011	7.2	160	502	57	122	34	215	4	1108
G- 78	858	7.01	159	169	22	66	15	74	2	508
G- 127	945	7.3	210	139	21	91	11	56	1	542

### Relación lluvia – niveles – Movimiento de las aguas subterráneas en la zona de alimentación.

En nuestro trabajo se opera con la red de niveles mensuales y se realiza el procesamiento estadístico de las precipitaciones en el tramo representadas con un promedio de 10 años. En su aplicación se obtienen los Gráficos de Relación Lluvias – Niveles, donde como resultado de su interpretación se resume. (Ver Grafico tipo N° 1).

#### Grafico N° 1



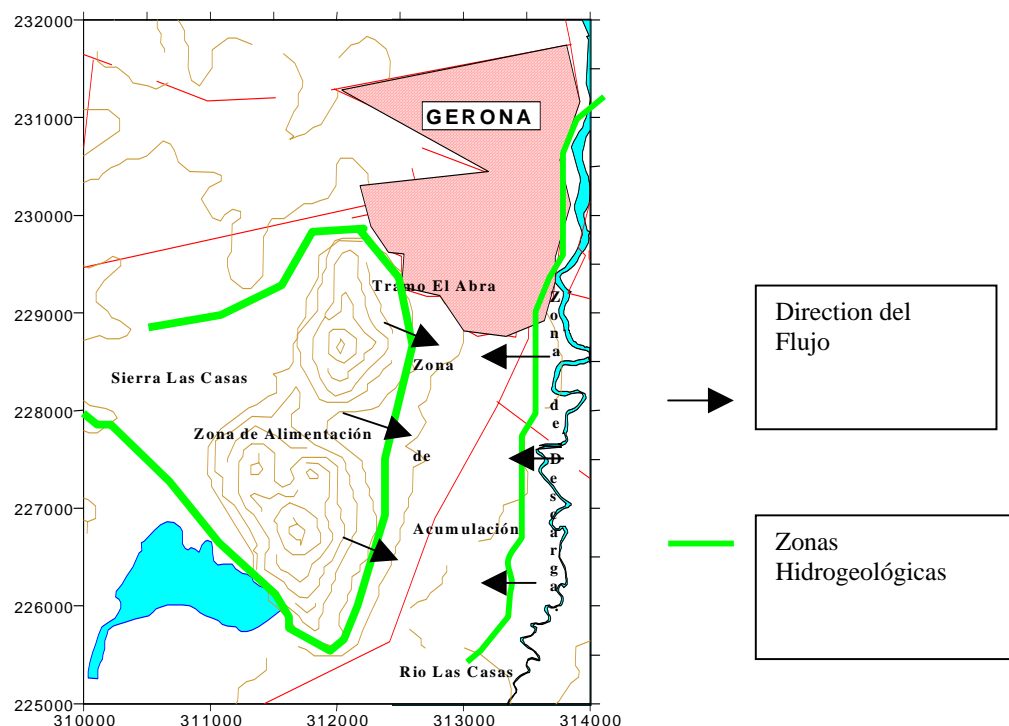
1. Que estamos en presencia de un acuífero confinado.
2. Que la alimentación no procede sólo de la lluvia, que cae directamente sobre el macizo sino que otros mecanismos que se relacionan con el movimiento de las aguas en el tramo siendo estos geológicos y tectónicos.
3. Que existe una retención por lo que se produce una alimentación remanente que va de un año a otro.]
4. Se produce un flujo pistón entre alimentación e infiltración, que en coincidencia con un año muy lluvioso (por encima de la media histórica) puede reflejar un artesianismo en el área.



### ➤ Zona de descarga. Río Las Casas

Su río principal, "Las Casas", es un río abierto con comunicación directa con el mar, la velocidad de circulación de sus aguas es relativamente baja, prevaleciendo el efecto de marea con movimiento invertido del mar hacia la tierra, por esta razón las aguas del río Las Casas aparecen salinizadas así como las zonas acuíferas que bordean al río. La descarga desde el acuífero no es a través de toda la línea del río, existe en tramos donde desaparece, producto de la sobre explotación de estos puntos es que la dirección del flujo se ha invertido, provocando una ligera intrusión salina.

### Anexo N° 1 Mapa de zonas Hidrogeológicas del Tramo El Abra



⇒ Estudio de Detalle

### Requisitos Sanitarios.

La norma Cubana 53-181 de 1988 para pozos de recarga establece las especificaciones de proyectos de recarga de aguas limpias. De los sistemas empleados para realizar recarga artificial se mencionan tres tipos. En nuestro trabajo aplicaremos los Sistemas Mixtos: Aquí se mencionan las zanjas con pozos verticales.

Cuando se vayan analizar situaciones existentes en los que se requiera ubicar un pozo de recarga en un punto fijo aguas debajo de uno de bombeo, se utilizará la curva del Grafico 2, con el que se determinará el porcentaje de agua de recarga que puede recircular. Se calculara primero:



$$\alpha = \frac{2.Q_R}{\pi.d_o.T.In} = \frac{2.Q_B}{\pi.d_o.T.In} = \frac{q_B}{\pi.m.d_o.qn}$$

Se buscara en la gráfica la relación  $Q_r / Q_b$  y

como  $Q_B$  es conocida se obtiene  $Q_R$ , cuando  $Q_b = Q_R$ . Para  $Q_R < Q_B$ , este valor resultara inferior al calculado

En el desarrollo y aplicación de esta norma a las condiciones específicas del tramo, aguas debajo de los pozos de bombeo se comportara así.

- En ningún punto de explotación actual del Tramo, hay recirculación del agua infiltrada,  $\alpha$  es < que 1 en todos los pozos.
- El caudal de recarga proyectado será siempre igual o menor que el caudal de bombeo
- Se pueden infiltrar las aguas del G-48 y G-78 por la cercanía de su ubicación en el G- 27, sin que estas recirculen, d, no responde a los requerimientos, frente un acuífero semiconfinado regulado por la tectónica del tramo.
- Para los pozos G- 14, G-15 y G- 127(Ver Anexo 3),  $d_{min}$  puede ser mucho menor, como dijimos en un inicio la relación en estos acuíferos esta determinada por las características geológicas e hidrogeológicas y el tectonismo del tramo, no obstante respetamos los primeros (50) metros por los vertimientos en esa área.

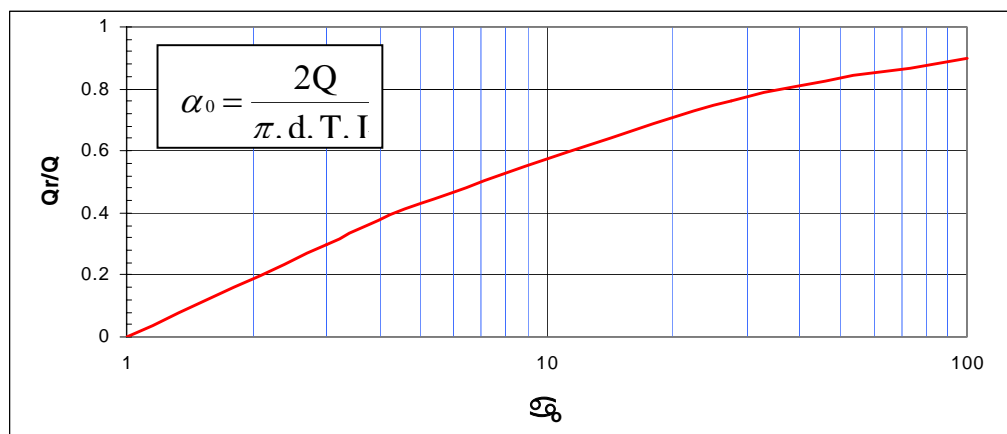


Gráfico N° 2

La relación  $Q_r/Q$  se encuentra en función del valor de  $\alpha_0$

⇒ Los Estudios de vulnerabilidad

### Establecimiento de Barreras físicas

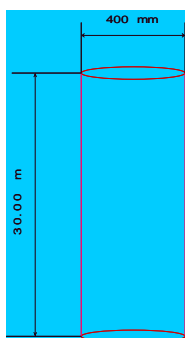
Debido a que las estructuras se encuentran alineadas desde la Sierra Las Casas hasta el río, la descarga del acuífero se hace de forma directa y canalizada desde la zona de alimentación hasta la zona de descarga, pasando por la Subcuenca El Abra, donde aparece el frente actual de explotación de los pozos de abastos. Cuando se crea una zona de extracción, la dirección de flujo se invierte desde el río hacia al acuífero. Para tal fin se propone la creación de una *Barrera de recarga artificial* en los frentes de explotación de los pozos de bombeo en la misma dirección de las estructuras tectónicas creándose los mecanismos para que no se produzca la contaminación del agua subterránea y se conserven los nuevos volúmenes. (Ver Anexo N° 2)

Para tales efectos el diseño adiciona una zanja de protección paralela al río Las Casas abarcando en extensión sus alineaciones tectónicas principales, como primer paso, cumple el primer efecto de barrera a recibir y lixiviar las aguas intrusionadas provenientes del río Las Casas. Las calas de observación tendrán su función de evaluación sistemática del diseño.

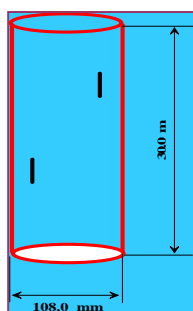


## Elementos y partes del diseño

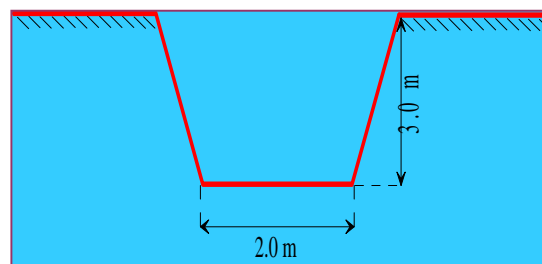
### Pozos Standard



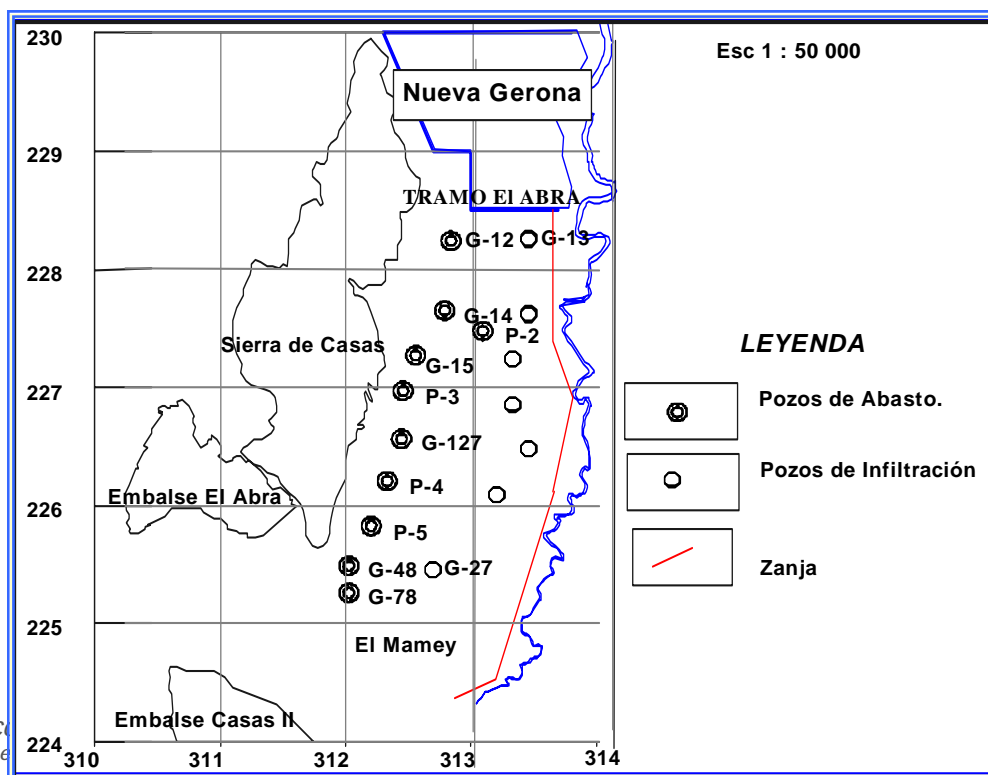
### Calas de Observación



### Zanjas o Drenes



Anexo N° 3 Mapa Diseño de los elementos de la Barrera para el control de los puntos vulnerables del tramo de la Subcuenca El Abra en la Isla de la Juventud.





## CONCLUSIONES

1. El carácter impermeabilizante de estas fallas muestra la importancia del manejo de nuestras alineaciones en el tramo; resultando en la zona de acumulación, dos más prometedoras, preferenciales, por su amortiguación natural.
2. En la definición del diseño quedaran acotados, la cantidad y distribución de los pozos de abastos de explotación e infiltración, definidos por las entradas de agua desde la Sierra Las Casas, los que logran.
  - Conectar una mayor cantidad de estructuras positivas no comunicadas, según su forma y disposición.
  - La posibilidad de recargar toda el agua disponible espacialmente en la zona no saturada (ZNS) del tramo dentro de la zona de alimentación.
  - La posibilidad de taponar mediante las estructuras las entradas de la intrusión salina.
3. La protección natural de estos acuíferos o no existe o esta constituida por una cobertura de poco espesor, determinando zonas con alta susceptibilidad frente a la actividad de los contaminantes.
4. Es reconocida la complejidad geológica e hidrogeológica que presenta este tipo de sistema, (acuitardo, semiconfinado y agrietado), el análisis de los aspectos relacionados, resulta una buena combinación de elementos, donde ninguno excluye al otro, sino que se ajustan para una solución bondadosa.

## BIBLIOGRAFIA

- Castany, G.: Prospección y explotación de aguas subterráneas. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1975. 738 pp.
- Custodio, Bayo, Orti: Características geológicas, hidrogeológicas y geoquímica de los acuíferos costeros entre Cambrils y L'Ametlla de Mar (Tarragona). Primer Congreso Hispano – Luso – Americano de Geología Económica. Madrid - Lisboa. Sección 6, Madrid, 1971. Sección 6, pages 51-80.
- González, A.: Técnicas preventivas de la Contaminación del agua en minería. Contribuciones a la Investigación y Gestión del Agua Subterránea. Topes de Collantes, (Santi Spiritus), 1996. pág., 17.
- Miroshnikov, Y.: Costo límite del agua dulce en los pozos imperfectos del litoral,. Voluntad Hidráulica, año X, nº 27, La Habana, 1973, págs 26-34.
- Montano, J.: "Vulnerabilidad de los Recursos Hídricos Subterráneos", en Memoria del 1o Curso Sul-Americano sobre Avaliaco e Vulnerabilidad de Acuíferos, (4 a 22 de julio de 1994), Curitiba- PR, UFPR, Departamento de Geología, 1994. págs 95-166
- Montano, J. "Caracterización y Vulnerabilidad de Sistemas Hidrogeológicos Discontinuos. Cuenca de Arroyo Carrasco, Montevideo, Uruguay". Tesis Doctoral UBA, Argentina. 1999 pp11
- Shayakubov, I, Morales, C.: Consideraciones para la explotación de acuíferos costeros en presencia de intrusión salina. Voluntad Hidráulica. XVII. 1980, pág. 6
- Tood, D.K.: Ground Water Hydrology. Ed. John Wiley \* Sons. 5ª edición, 1966, cap. 12 Sea Water Intrusion in Coastal Acuífer, 1959, págs. 277-296.



## CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA E HIDROGEOLOGICA DEL ACUIFERO DE QUITO-ECUADOR

Teresa Muñoz<sup>1</sup>, Verónica Villarreal<sup>1</sup>

*Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito*

El estudio se realizó en los acuíferos conocidos como Centro y Norte de la ciudad de Quito- Ecuador con una extensión de 20km y de 5Km de ancho en promedio. Mediante perforaciones de investigación con recuperación de testigos, sondeos eléctricos verticales, redefiniciones de los logs de perforaciones de pozos de explotación de agua, así como también estudios hidrogeológico e hidrogeoquímicas realizadas por la EMAAPQ se ha podido enmarcar la geología local dentro de la geología regional, estableciendo las Unidades geológicas presentes en la cuenca volcano sedimentaria cuaternaria de Quito, además de establecer la relación de las capas litológicas con los niveles acuíferos

### GEOLOGIA LOCAL

La cuenca cuaternaria se halla desarrollada sobre un basamento volcánico, compuesto por rocas andesíticas, producto del desarrollo eruptivo del volcán Ruco Pichincha. De acuerdo a los registros de perforación, las rocas que corresponden al basamento son un conjunto de lavas andesíticas intercaladas con flujos piroclásticos que se encuentran dentro de la Formación Machángara.

El relleno de la cuenca, se ha desarrollado con productos volcano sedimentarios, depositados en diferentes ambientes, eólicos, fluviales, aluviales, lacustres, palustres y depósitos netamente volcánicos tanto primarios como secundarios, agrupados en las formaciones Machángara que se presenta con dos miembros: Mb. Volcánicos Basales y Mb. Quito, la formación Cangahua y los depósitos La Carolina.

La zona de estudio se encuentra enmarcado dentro de un ambiente tectónico activo, en el que presenta un sistema de fallas activas inversas asociadas a una depositación sin-tectónica observados hacia los términos de las fallas.

### HIDROGEOLOGIA

De acuerdo a las perforaciones de investigación, pruebas de bombeo y al análisis de las características de permeabilidad y conductividad teóricas de las rocas se ha podido definir al Acuífero Centro Norte de Quito, como un acuífero único multicapa en el que constan dos niveles con buenas características hidrogeológicas



Esquema conceptual del Acuífero Centro Norte de Quito.





## EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE MOA.

***Moraima Fernández Rodríguez<sup>(1)</sup>, Manuel González Turro<sup>(2)</sup>, Amparo Velázquez Velázquez<sup>(3)</sup>, Constantino de Miguel Fernández.<sup>(4)</sup>***

(1).Facultad de Geología –Minería . Dpto. de Geología .ISMM, Las Coloradas Moa Holguín Cuba., E-mail [mfernandezr@ismm.edu.cu](mailto:mfernandezr@ismm.edu.cu)

(2) Planta Potabilizadora de Agua. ECG. Carretera de la Veguita. Moa, Holguín ,Cuba. E-mail [mgturro@ecg.moa.minbas.cu](mailto:mgturro@ecg.moa.minbas.cu).

(3).Facultad de Geología –Minería . Dpto. de Geología .ISMM, Las Coloradas Moa Holguín Cuba., E-mail [avvelazquez@ismm.edu.cu](mailto:avvelazquez@ismm.edu.cu)

(4).Facultad de Geología –Minería. Dpto. de Geología .ISMM, Las Coloradas Moa Holguín Cuba., E-mail [cdemiguef@ismm.edu.cu](mailto:cdemiguef@ismm.edu.cu)

### RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados de la evaluación de las principales fuentes de agua de consumo en el municipio de Moa. Se localizaron los principales focos de contaminación y se realizó muestreo hidroquímico a los principales fuentes de abasto de agua para la ciudad: Pozos del complejo acuífero de los sedimentos aluviales, localizados en La Veguita, aguas de la planta potabilizadora de la Empresa Ernesto Che Guevara y aguas subterráneas de los pozos criollos en diferentes repartos de la ciudad que son empleadas cuando existe déficit en la red de distribución.

Se evaluaron las principales características físico-químicas y con los resultados de los análisis representados en tablas, gráficos y mapas se clasificaron las aguas según diferentes autores utilizando las normas nacionales e internacionales para agua potable, se determinó su grado de contaminación química por elementos metálicos y elementos nitrogenados, además se realizaron análisis bacteriológicos en puntos representativos de la red de distribución, existiendo alteraciones en algunos elementos en las aguas del complejo acuífero de los sedimentos aluviales y deficiencias en la calidad desde el punto de vista higiénico-sanitario principalmente en los pozos criollos teniendo en cuenta las concentraciones máximas deseables y permisibles para ser consumidas por la población, ocasionadas en algunos casos por la falta de control y conocimiento de los pobladores lo que puede traer aparejado posibles influencias sobre la salud humana. Se realizó trabajo comunitario. Se dan conclusiones y recomendaciones de interés

### ABSTRACT

The present paper shows the results of the evaluation of the main sources of consumption water in the Moa municipality. The main focuses of contamination were located, and it was carried out hidroquimic sampling to the main sources of supply of water for the city: Wells of the aquifer complex of the alluvial silts, located in The Veguita, waters of the potable plant of the Ernesto Che Guevara Company and underground waters of the Creole wells in different allotments of the city that are employees when deficit exists in the distribution net. The main were physical-chemical characteristic evaluated and with the results of the analyses represented in charts, graphics and maps the waters were classified according to different authors using the national and international norms for drinkable water, their grade of chemical contamination was determined by metallic elements and nitrogenous elements, we also carried out bacteriological

analysis in representative points of the distribution net, it were found out alterations in some elements in the waters of the aquifer complex of the alluvial silts and deficiencies in the quality from the point of view hygienic -sanitarium mainly in the Creole wells taking into consideration load of the desirable and permissible maximum concentrations to be consumed by the population, caused in some cases by the control lack and the residents' knowledge that can bring harnessed possible influences on the human health. Was carried out community work. Conclusions and recommendations of interest are given.

## INTRODUCCIÓN

El agua no se encuentra en la naturaleza en su forma químicamente pura, compuesta solamente por moléculas de agua. Puesto que disuelve ávidamente a la mayoría de los compuestos sólidos, líquidos y gaseosos, en su forma natural se encuentran normalmente impregnadas en ellos. Es interesante hacer notar que el agua químicamente pura no es apropiada para la vida. Pero esta propiedad de disolver compuestos extraños a ella es la que provoca serios problemas de contaminación: los desechos industriales o domésticos incorporados a la masa de agua, llegan hacerla inadecuada y hasta peligrosa para la vida. Conocer los límites de impurezas que para cada uso pueden aceptarse y estudiar la manera de eliminarlos es una tarea de higiene extremadamente importante para conservar los recursos hídricos.

La disponibilidad de agua potable de buena calidad es un factor importante para preservar la salud de la población y son conocidas las epidemias causadas por la contaminación de las aguas que en el pasado diezmaron la población. Actualmente en la mayoría de los centros urbanos se controlan estos problemas, pero el creciente desarrollo de la sociedad hace aumentar continuamente la cantidad y tipos de fuentes.

Numerosos efluentes industriales, productos químicos arrastrados por las lluvias, erosión de los suelos contribuyen al igual que fuentes de origen natural a deteriorar la calidad de las aguas.

En el municipio de Moa existe un acelerado desarrollo de la industria del níquel junto a un aumento demográfico lo que trae consigo un crecimiento de los asentamientos poblacionales, el vertimiento descontrolado de residuales domésticos de diferentes naturaleza, la tala indiscriminada de los bosques, la aparición de áreas desprovistas de vegetación y fundamentalmente el vertimiento de residuales sólidos, líquidos y gaseosos de los procesos metalúrgico. Las fuentes de aguas existentes carecen de la calidad necesaria, según las normas cubanas e internacionales para estos fines lo que exige de un estudio detallado y la toma de medidas inmediatas con el objetivo de minimizar y erradicar los daños, por esta razón se realiza un estudio sobre el estado actual de la calidad del agua de consumo humano en la zona urbana de la ciudad de Moa con el objetivo de Identificar los focos contaminantes, la composición físico-química e higiénica sanitaria mediante el estudio de diferentes parámetros analíticos y su incidencia en la salud humana y proponer medidas y recomendaciones para minimizar las afectaciones detectadas.

## Descripción del contexto a nivel local

El área de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Moa, perteneciente a la provincia de Holguín, Cuba.

En el mismo durante los últimos 50 años se ha evidenciado un desarrollo minero metalúrgico considerable debido a las grandes reservas ferroniquelíferas aquí localizadas, trayendo aparejado un incremento demográfico y una demanda superior de agua potable.

Algunas de las fuentes de aguas existentes carecen de la calidad necesaria, según las normas cubanas e internacionales para estos fines (Velázquez, 1999), lo que exige de un estudio detallado y la toma de medidas con el objetivo de minimizar y erradicar los daños

## MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y caracterización de los focos contaminantes.

La investigación se realizó a través de seis marchas rutas y varios recorridos para valorar la zona de estudio. Durante el levantamiento 1:25000 se detectaron y caracterizaron los principales focos de contaminación que afectan la calidad física química y bacteriológica de las aguas subterráneas y superficiales en el área de estudio, los cuales se exponen a continuación:

- Producto de la tecnología de lixiviación ácida de la Empresa Pedro Soto Alba diariamente se vierten residuales líquidos (licor residual WL), al río Cabañas con su carga contaminante. Según reconocimiento ambiental ejecutado por CESIGMA (1997). en el territorio, se plantea el impacto negativo que tiene esta actividad sobre el medio ambiente.
- Referente a los residuales sólidos (las colas) con contenidos de Ni, Co, Cu, Mn, son depositadas en zonas aledañas a la industria (presas de colas), lo que implica una afectación al medio por la contaminación que le provoca al medio natural (aire, agua, suelo) y el impacto negativo que le ocasiona al paisaje al aumentar las zonas descubiertas existentes en el municipio
- En la zona urbana se detectaron afectaciones al medio provocadas por el vertimiento de residuales sólidos y líquidos, aguas albañales de forma indiscriminada sobre la superficie del suelo lo cual incorpora contaminantes tanto al subsuelo como al manto acuífero por ausencia de red de alcantarillado.

## Muestreo

Es importante tener en cuenta que el resultado de un análisis depende de la forma y el lugar en donde se toma la muestra, por lo que para garantizar la confiabilidad e imparcialidad de los mismos, es necesario e importante la seguridad, control y calidad con que se preserven y transporten las muestras al laboratorio.

Se analizaron los cinco pozos del complejo acuífero de las terrazas del río Moa en varias campañas de muestreo 1996-2003, De estos pozos actualmente solo tres se explotan: El pozo 51 abastece el reparto Rolo Monterrey, el 49 y 50 a la zona baja de la ciudad. Estos pozos se localizan en las terrazas del río Moa, comprende unos 2 km<sup>2</sup> de extensión y están conformadas por los sedimentos aluviales depositados por el río Moa.

Además fueron tomadas muestras de la presa Nuevo Mundo, esta tiene una capacidad de embalse de 140x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, el agua llega hasta la derivadora de Moa son tratadas en la Planta potabilizadora de la Empresa Ernesto Che Guevara.

Se realizó un muestreo hidroquímico en los puntos representativos utilizados por los consumidores, pozos criellos en diferentes repartos: Las Coloradas, La Playa, Los Mangos, Pueblo Nuevo y otros, los más utilizados por la comunidad cuando existen roturas en la red de distribución.

A todas las muestras tomadas para el estudio se le realizó análisis físico-químico, se procesaron los resultados y se compararon con las normas nacionales e internacionales vigentes sobre la calidad del agua potable.

Se hizo además un control bacteriológico en diferentes puntos de la red de distribución para aguas superficiales y aguas subterráneas

Parámetros estudiados y métodos analíticos utilizados.

Para la realización de estos análisis se ha seguido la metodología indicada según la normativa (A.P.H.A., 1995).

- Para las determinaciones relacionadas con la conductividad, salinidad y sólidos totales disueltos empleamos el conductímetro WTWLF – 330 UNICAM.
- Determinaciones de pH, el potenciómetro WTW UNICAM.
- Por el método de Análisis Colorimétrico se determinó: el color, la turbidez,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Fe, nos apoyamos en el espectrofotómetro DR-2000 y el espectrofotómetro ultravioleta visible Helios  $\lambda$  UNICAM.
- Para las determinaciones del  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y los restantes elementos se empleó el método de valoración volumétrica.

Los elementos pesados Ni, Co, Cu, Zn,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , etc. fueron determinados por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Aguas Subterráneas.

Complejo acuífero de los sedimentos aluviales.

Los valores de conductividad determinados, los STD. y % de salinidad van aumentando proporcionalmente, situándose los valores más elevados en los pozos cercanos a la presa, de esta misma manera aumenta la turbidez y el color que en el pozo 49 exceden los valores permisibles.

**Tabla I. Propiedades Físicas. Concentraciones medias .Pozos del complejo acuífero de la Veguita.**

Muestras	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ )	Turbidez (NTU)	Salinidad (%)	STD (mg/l)	Color (Esc/Pt-Co)
49	7.27	1100	47	0.3	436	8
50	7.45	260	0	0.0	107	1
51	7.97	353	12	0.0	107	2
52	7.55	316	0	0.0	130	3
53	7.94	267	4	0.0	110	4

Respecto a los metales es interesante destacar la presencia de concentraciones de  $\text{Cr}^{6+}$ , Ni, Fe, Mn, debido fundamentalmente a la geología de la zona y el grado de asociación con la mineralogía de los residuos de la Presa de colas, Terrero Abella, 1995. En la etapa evaluada hay aumento lógico de las concentraciones debido al incremento del volumen de residuos a la presa y las condiciones de la región que favorecen la infiltración de las aguas meteóricas producidas por las precipitaciones. Ver tabla II.

**Tabla II. Concentraciones media de metales pesados pozos del complejo acuífero La Veguita**

MUESTRA	Ni	Co	Mn	Cr <sup>6+</sup>	Fe
49	0,45	0,0018	0,098	0,0016	0.22
50	0,37	0,0012	0,0375	0,0125	0.085
51	0,41	0,001	0,041	0,0085	0.162
52	0,038	0,001	0,014	0,012	0.1
53	0,039	0,0015	0,045	0,005	0.097

Los principales iones son HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, están presentes por la descomposición de los sedimentos y rocas ultra básicas. En general la alta concentración de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, de metales pesados y su mineralización permiten deducir que la contaminación del acuífero es producto de la recarga de residuos a la presa y por la presencia de animales en zonas aledañas a los pozos.

Las aguas son clasificadas por su dureza como algo duras y blandas y por su mineralización aguas dulces, por su composición química son Hidrocarbonatadas-Sulfatadas-Cálcicas y Sulfatadas - Hidrocarbonatadas-Magnésicas- Cálcicas.

**Tabla III. Concentraciones de elementos naturales . Pozos del complejo acuífero de La Veguita.**

Muestra	Concentración en Mg/L											
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	M. Org.
P-49	38.52	139.55	18.9	0.4	0.39	152	0	0.0549	1.15	21.61	446	1.96
P-50	11.98	33.95	6.8	0.2	0.28	112	0	0.047	0.71	18.07	21.33	1.87
P-51	11.13	32.28	9.2	0.22	0.28	112	0	0.064	0.65	20.82	22.18	1.26
P-52	10.27	43.27	7.23	0.27	0.29	164	0	0.023	0.77	22	32.19	1.2
P-53	11.98	33.95	6.15	0.19	0.28	92	0	0.0169	0.68	25.93	22.30	0.95

### Aguas superficiales

El río Moa circula a través del Yacimiento Moa perteneciente a la Empresa Mixta Pedro Soto Alba .Tiene una longitud de 21 km aproximadamente y su cuenca un área de 300 km<sup>2</sup>, la geología en la misma se encuentra constituida por suelos lateríticos, secuencias de tobas, cuerpos de garbos y depósitos arcillosos. Se aprecia un relieve denudativo erosionado con valles profundos manifestado sobre garbos (Rodríguez Infante 1998).

Estas aguas son tratadas en la Planta Potabilizadora de la Empresa Ernesto Che Guevara. Esta se encarga de potabilizar un volumen promedio mensual de 622 033 m<sup>3</sup> de agua potable. El agua proveniente de la derivadora es bombeada hasta una cámara distribuidora de aquí pasa a un mezclador tubular vertical, se le inyecta cloro y se le adicionan los reactivos químicos Aluminato de Sodio, sulfato de aluminio y cal pasando posteriormente a los clarificadores, el agua clarificada pasa a un canal colector y de aquí a los filtros que es conducida a los tanques de almacenamiento y posteriormente se le inyecta cloro.

Se tomaron muestras crudas ( que entran al proceso de potabilización ) y muestras filtradas de los tanques de almacenamiento.

Estas aguas ligeramente básicas y dulces, por los iones predominantes son hidrocarbonatadas- magnésicas. Se caracterizan por tener pH desde (8.3-8.34) y su

conductividad esta en el rango de (124.6-165.6  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ) proporcionalmente a los STD y la Salinidad. La turbidez se encuentra con valores de NTU de 21.77 y 6.486, exceden los niveles permisibles. En esta zona existe influencia de las labores mineras, por escurrimiento van a parar al río después de las precipitaciones cantidades de residuales del proceso de Planta de pulpa. En este aspecto es importante señalar que en esta planta anteriormente toda el agua residual de preparación de pulpa descargaba por una canal hasta el río. Actualmente existen dos bombas una bomba centrífuga vertical en un deposito colector del agua de lavado de pulpa y la otra bomba se encuentra en el sótano. Las partículas que se desprenden del Fd-2 alimentadores de esteras) que recogen las partículas y el agua posteriormente se incorpora al proceso.

El color esta en valores de (34.17 y 115.2) en la Esc. Pt/Co. Existen concentraciones de  $\text{Cr}^{6+}$  de (0.017 y 0.018) mg/l y contenidos de Fe, Ni, Co, Mn. Estas concentraciones en algunos casos exceden las normas establecidas y su origen puede ser natural y debido a la proximidad de la zona de explotación minera e industrial, donde existen áreas expuestas a procesos erosivos y a la incorporación de volúmenes de sedimentos al río. Todo esto conlleva un aumento en el consumo de reactivos químicos en el proceso de potabilización.

### Aguas filtradas.

Estas aguas se caracterizan por poseer contenidos de STD con valores entre (57.67 y 69.16). El pH de estas muestras oscilan entre (7.5 y 8.5) caracterizándose por ser aguas ligeramente básicas. La turbidez es una medida del enturbiamiento del agua. Se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficacia del proceso de filtración sus valores oscilan entre 1.1 y 1.2, con valores permisibles dentro de las normas. Los valores de color, conductividad, STD, y % salinidad mantienen valores admisibles para ser utilizadas para consumo.

**Tabla IV . Propiedades físicas de las aguas superficiales.**

Muestras	pH	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	Turbidez NTU	STD(mg/l)	Color (Esc/Pt-Co)
Cruda	8,3	124,6	21,77	51,9	115,2
Filtrada	7,5	141,4	1,2	57,67	2,36
Cruda	8,34	165,6	6,483	67,9	34,17
Filtrada	8,34	168,4	1,1	69,16	1,8
Presa	8,57	192	4	70	16

Los elementos naturales,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ , se mantienen por debajo de las normas máximas establecidas, se destaca el bajo contenido de calcio debido al tipo de litología existente en la zona. Este bajo contenido afecta la calidad de las aguas para el consumo humano, ya que este elemento es esencial para el desarrollo del organismo. Es importante señalar las concentraciones de Ni, Co,  $\text{Cr}^{6+}$ , Mn. son debido a la naturaleza predominante en esta zona, y a la proximidad a las zonas de explotación minera.



**Tabla V. Resultados promedios de los elementos minoritarios de las aguas superficiales.**

Año	Muestras	Ni	Co	Mn	Cu	Zn	SiO <sub>2</sub>	Cr6+	Fe
2002-2003	Cruda	0,043	0,002	0,5984	0,004	0,02	13,55	0.017	1,143
	Filtrada	0,023	0,0006	0,366	0,001	0,036	11,945	0.009	0,152
2003-2004	Cruda	0,01	0,003	0,38	0,001	0,09	14,47	0,018	0,546
	Filtrada	0,003	0,002	0,267	0,0025	0,016	13,45	0,009	0,161
Año	Muestras	Ni	Co	Mn	Cu	Zn	SiO <sub>2</sub>	Cr6+	Fe
2002-2003	Cruda	0,043	0,002	0,5984	0,004	0,02	13,55	0.017	1,143
	Filtrada	0,023	0,0006	0,366	0,001	0,036	11,945	0.009	0,152
2003-2004	Cruda	0,01	0,003	0,38	0,001	0,09	14,47	0,018	0,546
	Filtrada	0,003	0,002	0,267	0,0025	0,016	13,45	0,009	0,161

### Análisis bacteriológico.

Desde el punto de vista higiénico sanitario las aguas de estos pozos no cumplen las exigencias establecidas para la zona de protección bacteriológica A(II) en las que se prohíben las actividades que pueden afectar la calidad bacteriológica del agua ( tener un radio de 50 m aproximadamente) vertederos de actividades industriales (Custodio, 1981).

Fueron muestreados en diciembre del 2002, febrero y mayo del 2003 y julio 2004 no existiendo contaminación otros puntos de la red de distribución representados por diferentes centros donde se encontraron presencia de bacilos coli en el agua de consumo de : círculos infantiles, seminternados , dulcería, combinado cárnico, red de monitoreo del Reparto pueblo Nuevo, Dulcería, Acueducto reparto José Lillo, panificadora de Moa, Fábrica de hielo. Los resultados aparecen en la tabla VI.

**Tabla VI. Resultados de los análisis bacteriológicos del complejo acuífero de La Veguita.**

MUESTRAS	NMP DE BACILOS COLI X 100 ML			
	Diciembre 2002	Febrero 2003	Mayo 2003	Julio 2004
Pozo 49	+2.6	-2.2	-2.2	-2.2
Pozo 50	+5.1	-2.2	-2.2	-2.2
Pozo 51	+16	-2.2	-2.2	-2.2
Circulo Infantil Tierno Amanecer	16	9.2	-2.2	-2.2
Circulo Inf. Pequeños Industriales	9.2	-2.2	-2.2	-2.2
Circ. Inf. Pequeños Constructores	5.1	-	-2.2	-2.2
Acueducto Joselillo	+16	-2.2	-2.2	2.2
Red de monitoreo Pueblo Nuevo	+16	+16	-2.2	-2.2
Combinado Alimenticio	-2.2	9.2	5.1	2.2
Dulcería	-	+16	5.1	5.1
Panadería	+16	-2.2	-2.2	-2.2
Fabrica de Hielo	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2

### Pozos criollos

Estas aguas no son aptas para el consumo humano, sus propiedades físicas como la conductividad varia desde 391 hasta 1176  $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$  a 20 °C , los STD , % de salinidad, los

valores más elevados se encuentran en los pozos donde hay mayor concentración de sales producto a la cercanía del mar. El color aumenta a valores no deseables 45 U al igual que la materia orgánica con valores hasta 11.8 mg/l indicando contaminación de estas aguas por poco grado de protección de los pozos.

**Tabla VII Propiedades físicas de los pozos criollos estudiados por repartos. Valores medios.**

Muestras	pH	Conductividad ( $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$ )	Turbidez (NTU)	Salinidad (%)	STD (mg/l)	Color (Esc/Pt-Co)
Reparto Coloradas	6.38 -7.24	401-740	1-3	0.0-0.1	165-247	0-18
Reparto La Playa	6.76 7.93	510-807	2-6	0-0.2	209-332	4-27
Mangos	7.11- 7.55	600-821	1-4	0.0-0.2	247-342	0-45
Haití Chiquito	6.79	533	0	0.0	219	0
Josélillo	6.95	1176	4	0.4	484	18

Aparecen concentraciones amonio, nitrato que disueltos en el agua pueden ocasionar perjuicios para la salud (Environmental Protection Agency, 1983). El amonio o amoniaco libre aumenta su concentración cuando el medio es fuertemente reductor. Es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que se incorporan al agua subterránea. El nitrato encontrado en las aguas podría deberse a los lixiviados de fosas sépticas y aguas negras, sus concentraciones oscilan entre 3.8 hasta 42.62 mg/l. Existe presencia de nitrito en las aguas, estas pueden estar ocasionadas por la descomposición de la materia orgánica, así como cantidades añadidas a las aguas a través de las descargas de las aguas albañales. Es de señalar que gran parte de la zona carece de red de alcantarillado.

Existen valores no deseados de  $\text{Cr}^{6+}$  que oscilan entre 0.0001 y 0.008 mg/l. El níquel tiene un origen natural, proviene de las lateritas deluviales. El Níquel presente en las lateritas se va concentrando a partir de la descomposición de las serpentinitas y va quedando retenido entre los intersticios moleculares de las arcillas. Su contenido va desde 0 hasta 0.5 mg/l.

Según los resultados de los análisis bacteriológicos tabla VIII. Estas aguas están altamente contaminadas, existe presencia de bacilos coli y colifecales lo que implica no apta para el consumo humano, no reúnen los requisitos necesarios para ser utilizadas como aguas potables.

**Tabla VIII. Resultados de los análisis bacteriológicos de los pozos criollos**

MUESTRAS	NMP DE COLIBACILOS POR 100 ML	NO. DE COLIFECALES POR 100 ML
Coloradas-7	>1100	27
Coloradas -8	1100	485
Coloradas -10	1100	118
Coloradas -19	44	85
Coloradas 20	> 1100	31
Coloradas -24	100	31
Playa-12	96	26
Playa-6	280	28
Playa-20	1100	118
Playa -2	1100	96
Playa -9	100	47
Playa -23	>1100	39
P. Nuevo.49	1100	42
P. Nuevo -15	1100	38
Mangos-47	+1100	68
Mangos-54	+1100	480
Josélillo -43	+1100	96

Esta presencia de bacterias es debida fundamentalmente a la contaminación fecal, desagües de aguas albañales y domesticas, vertederos, además al no existir una red de alcantarillado las aguas sucias se infiltran contaminando los pozos. En general no existe protección higiénica sanitaria de estos pozos.

Una vez estudiadas las diferentes fuentes de suministro y algunos puntos de la red de distribución, así como las causas que provocaron esta contaminación se realizó un trabajo comunitario de concientización de la población mediante charlas, debates, consultas, conferencias, con el objetivo de que los pobladores adquieran los conocimientos necesarios y una elevada cultura sobre el importante recurso que es el agua, vital como un alimento para el desarrollo del organismo humano.

## CONCLUSIONES

1. Los focos de contaminación que afectan las aguas de consumo humano la población estudiadas se encuentran representadas por:

- Influencia de la presa de residuales de la empresa mixta Comandante Pedro Soto Alba, Moa Níquel SA.
- Roturas en el sistema de distribución de aguas de consumo.
- Mal estado higiénico sanitario de los depósitos de agua de consumo muestreados
- Exceso o déficit en la adición de cloro durante el proceso de desinfección.
- Presencia de letrinas sanitarias y fosas de vertimiento comunicadas con las aguas subterráneas de consumo.

2. Las aguas subterráneas procedentes de los sedimentos aluviales de las terrazas del río Moa se clasifican por su dureza total algo duras y blandas, por su grado de mineralización

dulces, y por su composición química hidrocarbonatadas-magnésicas-cálcicas. Los valores más elevados de mineralización, conductividad, dureza total, color, sulfato y metales pesados Ni, Fe, Mn,  $\text{Cr}^{6+}$  aparecen en mayores concentraciones en los pozos muestreados en las áreas que están más cercanas a la presa de colas de la Empresa mixta Cte. Pedro Soto Alba pozo (49 y 51). Las aguas superficiales (filtradas) por su pH se caracterizan por ser aguas ligeramente básicas y dulces, por los iones predominantes son hidrocarbonatadas- magnésicas. Los elementos naturales,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  se mantienen dentro de las normas establecidas, se destaca el bajo contenido de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) debido al tipo de litología existente en la zona de estudio. Las aguas de los pozos criollos están contaminadas por iones  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , y  $\text{NH}_4^+$ , presencia de color, con conductividades altas y presencia de metales pesados como Ni, Cr, Mn, Cu. Se clasifican por su dureza en duras o algo duras, por su salinidad como aguas normales.

3. Se realiza trabajo comunitario, mediante el cual los consumidores adquieren conocimientos sobre el agua como recurso natural y alimento vital para el buen desarrollo del organismo humano, además las principales medidas que se deben tomar para el ahorro, preservación y conservación de la calidad del agua suministrada teniendo en cuenta el esfuerzo que realiza nuestro gobierno y otras entidades para ofertar un agua con la mejor calidad posible.

## RECOMENDACIONES

1. Mantener el control sistemático y estricto de las características físicas -químicas e higiénicas sanitarias que definen la calidad de las aguas para el consumo humano y continuar realizando muestreos en los puntos establecidos.

2. Continuar profundizando el nivel científico-cultural de los pobladores sobre el recurso natural mediante debates, charlas y conferencias obteniendo como resultado un mayor el aprovechamiento cuido, ahorro del agua de consumo para mejorar la calidad de vida de la población.

3. Rehabilitación y reforestación en las zonas erosionadas que afectan las cuencas hidrográficas del área, y establecer las franjas de protección sanitaria para estos fines.

## BIBLIOGRAFÍA.

APHA, AWWA, WEF, ESTANDAR. Methods for examination of wastewaters descrii. I.S.A.E. Greenberg y A.D.S. Eaton (editors). 9 ed., 1995.

CESIGMA . Reconocimiento ambiental del proyecto de explotación minera y beneficio de Ni y Co en la empresa Comandante Ernesto Guevara. Informe Técnico. Empresa ECG.. División América, 1997. 50 p.

COLLADO FERNANDEZ, MIGUEL; J. A. SÁNCHEZ GARRIDO; A. NAVARRA FLORES. 1998 Minería, industria y medio ambiente en la cuenca mediterránea. Simposio. España,

CUSTODIO, EMILIO. 1981 La protección de la calidad de las aguas subterráneas en relación con la legislación y normativas. En: Jornadas sobre análisis y evaluación de la contaminación de aguas subterráneas. Barcelona: Editorial G. R Valencia, 13p.

CUSTODIO, EMILIO; MANUEL R. LLAMAS. 1996. Calidad del Agua Subterránea. En: Hidrología Subterránea. 2 ed. Barcelona: Ediciones Omega.

- GARZA ALMANZA, V. 2003-01-01]. Salud y ambiente en el desarrollo sustentable. OPS/OMS. División de salud y ambiente de la organización panamericana de la salud. [<http://www.paho.org/>]
- Luengo,L: 30/12/03. El Agua una extraña molécula. : <http://www.arrakis.es/%7Elluengo/>
- NC 93-02: 1985 (CUBA). Higiene comunal, Agua potable. Requisitos Sanitarios y muestreo. Aprobada Octubre 1985. Vigente Marzo 1986.
- NC 93-01-206:1988 (CUBA). Franjas forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales. Aprobada Marzo 1988. Vigente Sept. 1986.
- NC 93-03: 1985 (CUBA). Sistemas de abastecimiento de agua. Requisitos sanitarios. Aprobada Dic. 1985. Vigente Sept. 1986.
- RODRÍGUEZ INFANTE, ALINA. 1988. Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de los riesgos de génesis tectónica. Tesis de Doctorado. ISMM. Facultad de Geología y Minería. Moa.
- Sustancias contaminantes del agua. Ciencias de la tierra y el medio ambiente. <http://www.1.ceit.es/asignaturas/Ecologia/hipertexto/lcagua>
- TERRERO ABELLA. A. 1995.** Evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río Moa, Cuba, por efecto de la actividad minero metalurgia. En: Aspectos Geológicos de protección ambiental Volumen II. Uruguay: Publicado e impreso por la oficina regional de ciencia y tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe,.
- United States Environmental Protection Agency. 1983. Methods for chemical analysis of water and waster. Cincinati.
- VELÁZQUEZ VELÁZQUEZ, AMPARO, 1999. Estudio sobre la calidad natural de los recursos hídricos en el entorno de la zona minera de Moa, provincia Holguín. Tesis de Maestría del ISMM de Moa. 71 p.

Muestra. Conc. Mg/l	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	M. Org.
C-4	10.36	38.84	27.8	7.4	0.962	109.8	0	0.084	48.06	61.54	62.26	9.8
C-7	20.93	34.64	56.8	5.3	0.9	109.8	0	0.035	40.71	40.75	55.8	1.4
C-10	14.66	42.51	23.9	2.9	0.83	63.44	0	2.39	34.68	59.8	57.65	3.8
C-11	35.05	43.56	36.6	10.2	0.756	126.8	0	0.013	42.12	52.44	59.2	0.5
C-19	38.01	39.89	42.8	1.6	1.378	173.24	0	0.059	41.24	60.63	43.21	0.4
C-20	9.50	49.86	47.8	5.2	0.867	112.24	0	0.083	51.16	68.13	67.0	1.2
C-24	44.92	54.55	43.5	4.8	2.784	246.4	0	0.06	55.28	63.8	69.61	1.8
C-26	14.68	48.99	25	5	0.18	183.9	0	0.09	26.04	35.5	64.07	5.7
C-27	14.68	38.31	29.8	4.8	0.837	108.41	0	0.112	297.2	22.9	57.09	1.6
C-28	13.82	56.31	28.2	11.6	12.24	161.05	0	0.039	29.37	39.85	69.70	1.5
C-29	13.83	39.72	39.2	10.2	1.62	182.96	0	1.23	34.68	35.86	38.64	1.8
C-35	1.72	23.61	14	0.9	1.157	80.52	0	23.79	3.25	23.79	27.45	3.7
P-12	46.65	39.9	51	5.2	0.86	275.6	0	2.29	10.76	50.57	63.0	1.7
P-6	28.05	48.81	37.6	4.4	0.60	229.36	0	0.03	16.65	45.31	37.44	5.2
P-20	30.24	32.01	34.05	3.8	2.36	165.97	0	0.007	24.40	62.26	37.84	3.8
P-2	57.84	35.67	48.4	16.8	1.23	221.5	0	0.02	19.80	62.26	91.50	7.6
P-9	25.05	39.36	30.2	3.9	0.50	161.04	0	0.09	24.01	42.0	56.09	3.2
P-23	22.46	93.42	27.8	0.2	3.46	185.4	0	0.07	14.79	47.93	35.15	3.6
P-41	23.32	61.72	24.99	2.57	1.80	53.68	0	0.02	3.80	74.44	236.78	4.5
P-24	26.78	38.3	37	6.0	0.67	29.29	0	0.289	33.08	68.61	140.97	3.8
P-40	32.83	51.86	47.15	6.7	3.91	21.96	0	0.057	5.36	102.09	190.2	9.8
P-28	34.56	44.46	30.39	7.4	1.76	71.98	0	0.041	5.49	63.21	108.99	4.3
P-49	50.97	55.40	18.44	3.86	2.01	136.6	0	0.009	2.37	59.93	190.49	11.8
P.15	25.05	32.06	27.69	5.7	4.01	29.28	0	0.05	21.94	65.00	139.34	4.3
P.N-6	25.05	32.06	27.69	5.7	4.01	29.28	0	0.05	21.94	65.00	139.34	4.3
M-45	15.55	33.60	22.77	6.8	1.62	24.4	0	0.021	27.59	32.14	139.20	5.2
M.-47	8.64	49.33	9	1.8	0.65	59.78	0	0.009	2.48	6.65	162.39	6.8
M-54	8.64	49.33	9	1.8	0.65	59.78	0	0.009	2.48	6.65	162.39	6.8
HC.-52	14.6	41.46	7.36	3.60	0.19	65.65	0	0.008	8.01	28.39	122.04	5
J-43	46.65	68.05	47.61	20.9	20.45	173.2	0	0.067	4.74	106.00	239.52	1.2

**Tabla IX. Concentraciones en mg/l de los elementos mayoritarios . Pozos criollos.**



**Tabla IX. Concentraciones en mg/l de los elementos minoritarios . Pozos criollos.**

<b>Reparto las coloradas</b>							
<b>Muestras</b>	<b>Ni</b>	<b>Co</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Cr6+</b>
C-4	0.048	0.007	0.108	0.0039	0.011	18.25	0.0014
C-7	0.015	0.002	0.0099	0.002	0.52	10.67	0.0059
C-10	0.03	0.0019	0.078	0.018	0.0125	10.26	0.0015
C-11	0.015	0.002	0.009	0.002	0.52	10.22	0.0088
C-19	0.014	0.0019	0.0047	0.0013	0.0059	17.27	0.0088
C-20	0.045	0.0006	0.0046	0.0013	0.0085	12.96	0.003
C-24	0.004	0.000	0.013	0.0013	0.0052	19.83	0.0073
C-26	0.0043	0.0006	0.021	0.0016	0.0023	6.2	0.008
C-27	0.0124	0.000	0.0013	0.0006	0.015	8.86	0.003
C-28	0.007	0.0019	0.0436	0.00068	0.0026	8.63	0.0001
C-29	0.018	0.0026	0.0026	0.00067	0.0026	6.2	0.004
C-35	0.003	0.001	0.03	0.0018	0.015	17.75	0.03
<b>Reparto la playa</b>							
P-12	0.018	0.003	0.162	0.004	0.009	13.99	0.0014
P - 6	0.019	0.003	0.016	0.003	0.008	14.97	0.0059
P-20	0.0041	0.004	0.12	0.005	0.003	13.49	0.0044
P - 2	0.013	0.0016	0.006	0.0016	0.004	10.04	0.0059
P - 9	0.106	0.0063	0.019	0.003	0.0086	15.07	0.0030
P-23	0.04	0.003	0.15	0.0065	0.0048	12.98	0.0028
P -41	0.028	0.016	0.063	0.0033	0.016	27.56	0.0092
P -24	0.043	0.008	0.13	0.0066	0.029	37.6	0.0001
P -40	0.049	0.0066	0.214	0.0083	0.044	49.72	0.0014
P -28	0.019	0.0016	0.02	0.003	0.003	12.96	0.0030
<b>Repertos: Pueblo Nuevo. Mangos, Haití chiquito y Joselillo</b>							
P.N-49	0.018	0.00	0.06	0.0049	0.029	18.44	0.003
P.N.15	0.07	0.0049	0.041	0.0049	0.96	56.56	0.0014
P.N -6	0.043	0.0083	0.016	0.0016	0.021	17.57	0.0088
M-45	0.013	0.0066	0.03	0.0049	0.016	22.68	0.0087
M-47	0.003	0.0083	0.011	0.0033	0.029	38.561	0.0087
M-54	0.016	0.0083	0.056	0.0083	0.031	34.04	0.0043
H CH.-52	0.04	0.056	0.20	0.0033	0.023	26.76	0.0082
J -43	0.041	0.0075	0.014	0.003	0.036	22.15	0.007

## CARACTERIZACION GEOLOGO HIDROGEOLOGICA Y USOS POTENCIALES DE LAS AGUAS MINERALES DE LOS YACIMIENTOS EL VISO, LA CUQUITA Y EL CEDRÓN DE LA SIERRA MAESTRA.

**Amparo Velázquez Velázquez**

***Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa , Las Coloradas S/n Moa Holguín. Cuba .  
CP 83329 .Telef. (53)(24) 68190 Fax(53)(24) 62290, Email: [avvelazquez@ismm.edu.cu](mailto:avvelazquez@ismm.edu.cu)***

### RESUMEN

Se presenta un estudio de las características geólogo hidrogeológicas de los yacimientos de aguas minerales El Viso , La Cuquita y el Cedrón, localizados en la Sierra Maestra , además se hace la clasificación fisicoquímica de las mismas y se define su potencialidad con fines terapéuticos .

Para la investigación se tomaron como base los resultados de los trabajos de campo realizados por la Empresa Geólogo Minera de Santiago de Cuba, así como los resultados de los análisis químicos obtenidos .

Del análisis realizado se deduce que los yacimientos estudiados geológicamente se encuentran relacionados con las formaciones El Cobre, Charco Redondo , Río Macío, **Jaimanita, Uvero y Guamá**

Hidrogeológicamente las aguas subterráneas que se encuentran representadas en su mayor parte por rocas efusivas y vulcanógeno-sedimentarias, la permeabilidad vertical es muy pequeña en comparación con la horizontal lo que se debe a las fracturas tectónicas, los diques constituyen las principales barreras verticales de las rocas vulcanógenas,

Del estudio de estas aguas se deduce que son minerales y por sus características son aptas para su uso con fines terapéuticos, fundamentalmente como aguas minerales de mesa en el caso del yacimiento El Viso. La Cuquita y el Cedrón por su temperatura y los elementos químicos presentes en elevadas concentraciones pueden ser aplicadas en diferentes patologías.

### SUMMARY

A study of the hidrogeological geological characteristic of the locations of mineral waters is presented El Viso, La Cuquita and El Cedrón, located in the Sierra Maestra , the physiochemical classification of them it is also defined its potentiality with therapeutic gals.

O for this the results of the field works carried out by the Mining Geological Company of Santiago de Cuba, as well as the results of the obtained chemical analyses.

From the analysis it is deduced that the source grounwaters studied geological point of view are related with the formations El Cobre, Charco Redondo, Río Macío, Jaimanita, Uvero y Guamá

Hidrogeological the underground waters that are represented by efusive and vulcanógenic-sedimentary rocks, the vertical permeability is very small in comparison with the horizontal one what is due to the tectonic fractures, the dikes constitute the main vertical barriers of the vulcanogenic rocks

From the study of these waters it is deduced that they are mineral and due to characteristics they can be used for therapeutic treatment, fundamentally like mineral waters El Viso. La Cuquita and El Cedrón for their temperature and the chemical elements presented in high concentrations can be applied in different pathologies.

## INTRODUCCION

El estudio y la explotación de las aguas mineromedicinales de la isla de Cuba se remonta al siglo pasado, pero ha tenido su mayor auge en la segunda mitad de siglo en la que se han desarrollado y desarrollan importantes estudios de caracterización y evaluación de estos recursos. Estos estudios se han desarrollado fundamentalmente por investigadores del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), las Empresas Geológicas (EG), Centro Nacional de Termalismo (CENTERVISA) y estudiantes y profesores del Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM) de Moa.

Muchos de estos trabajos caracterizan determinados acuíferos en concreto (ver tabla 1 Corratge, 1980; Puentes, 1989; Serge, 1990; Suárez, 1991; Contreras, 1991; Canal, 1992; Mayedo, 1992; Carballoso, 1992; Ojeda, 1992; Rojas, 1992 y 1996), limitándose a caracterizar los acuíferos en cuanto a composición química de las aguas, calidad, cantidad y descripción de las formaciones geológicas que se encuentran, faltando en ello la relación entre la composición química y el marco geológico. Fagundo (1986) introduce el uso de algoritmos para el cálculo de diferentes parámetros de aguas altamente mineralizadas. Batista et al (1996) aplica los métodos de estadística multivariada al estudio del acuífero Menéndez. Álvarez y Moreno (1996) analizan las principales regularidades en cuanto a la composición química de las aguas mineromedicinales (38 acuíferos) pero no dan la composición química de ellos, solamente se limitan a clasificarlos por la composición de los iones mayoritarios y algunos elementos característicos, así como una perspectiva de la situación actual. Rodríguez y Blanco realizan una valoración de las regularidades hidrogeológicas de los principales acuíferos de aguas mineromedicinales del occidente del país, comprobando que las aguas de mayor mineralización se asocian a las rocas de la Plataforma de las Bahamas. Pérez (1995b) valora las regularidades de las aguas minerales naturales de la región centro oriental, comprobando que están asociadas a formaciones geológicas con edades posteriores al Cretácico. Pérez (1995a) estudia las regularidades geológicas de varios acuíferos de aguas mineromedicinales de Cuba y comprueba que la temperatura de ellas se debe a la circulación profunda de estas aguas. Dentro del estudio hidrogeológico en Cuba es bueno destacar además la obra de Fagundo et al (1996) que ofrece una caracterización detallada de la hidroquímica de los principales acuíferos cársticos de Cuba. El objetivo del presente trabajo es la caracterización geológica hidrogeológica de las aguas subterráneas de los yacimientos El Viso, El Cedrón y La Cuquita así como la evaluación de las características fisicoquímicas para definir su disponibilidad con fines terapéuticos.

## MATERIALES Y METODOS

Los métodos utilizados en la caracterización geológica hidrogeológica se han fundamentado especialmente en la revisión y el análisis exhaustivo de los trabajos realizados y las principales características geológicas, haciendo énfasis en las principales formaciones y sus características así como la tectónica de la zona.

A partir de los trabajos geológicos e hidrogeológicos realizadas por empresas especializadas de la industria básica y los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en laboratorios adecuados para ello de acuerdo con las normas ISO 9000 en los laboratorios Elio Trincado, Isaac del Corral y el Laboratorio de Santiago de Cuba, fueron escogidos tres de los yacimientos localizados en la Sierra Maestra: El Cedrón, El Viso y La Cuquita para posterior análisis e interpretación del comportamiento de sus propiedades físico químicas con fines terapéuticos.

Fueron escogidas 50 muestras de cada uno de los yacimientos, aunque se tomaron otros datos complementarios.

Para la clasificación de las aguas y su definición y disponibilidad con diferentes fines se emplearon los siguientes parámetros:

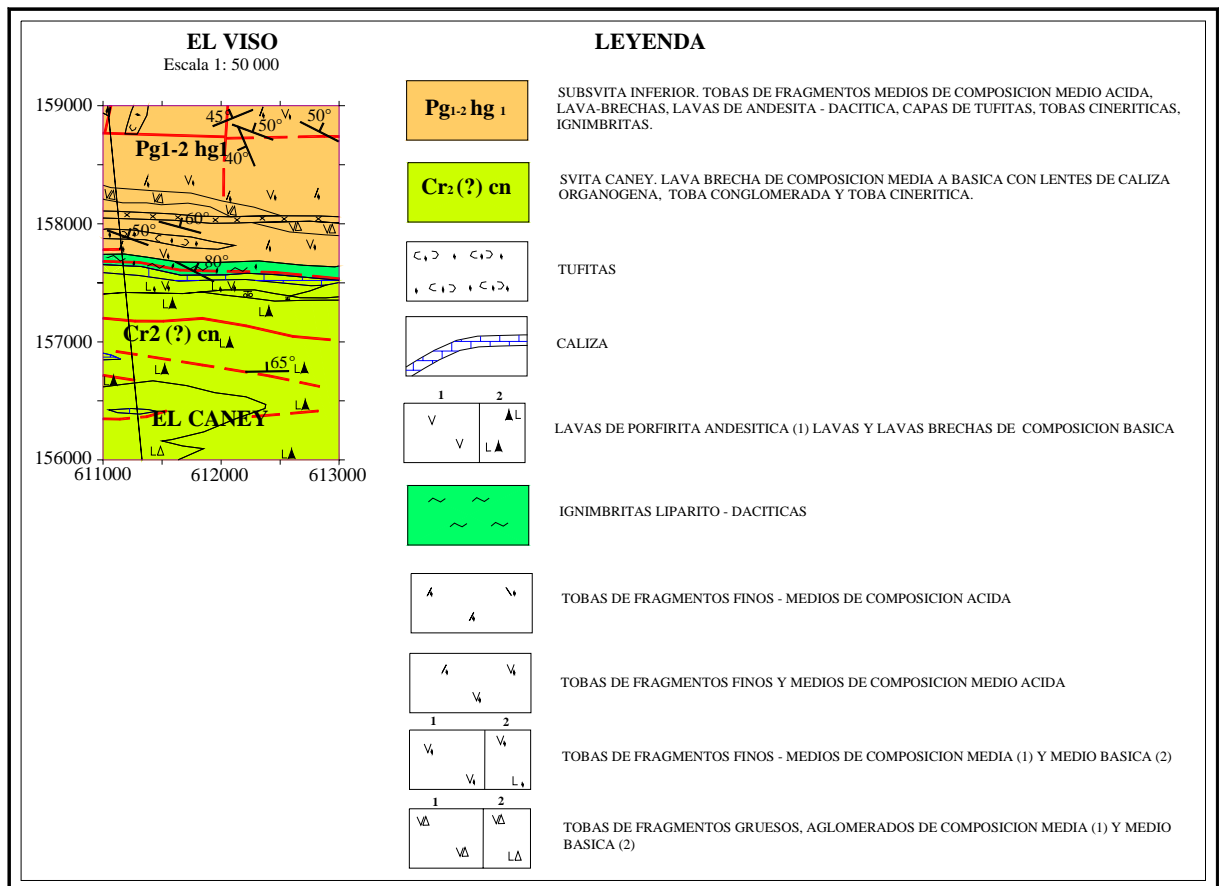
- Determinaciones físico-químicas in situ: pH, Conductividad Eléctrica, TDS, Turbidez, Temperatura
- Determinaciones de sustancias ionizadas:
  - a) Elementos minoritarios ó trazas por el método I.C.P. (entre 25 y 28 elementos)
  - b) Elementos Mayoritarios: (Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Na, K, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>).
- Determinación de elementos no ionizados: Sílice
- Determinaciones auxiliares: Sólidos Totales y/o Residuo Seco, Alcalinidad, Mineralización, Br, I, F.
- Determinaciones de sustancias contaminantes: Cianuro (CN-) y Nitrito (NO<sub>2</sub>-).

Fueron empleadas además diversas clasificaciones de las aguas mineromedicinales. La más utilizada es la clasificación química por el contenido aniónico/ catiónico predominante, donde un anión/ catión debe representar más del 20% de la mineralización global para clasificar un agua como tal. Hay que tener en cuenta que un agua mineromedicinal puede compartir varias características de la siguiente clasificación y suelen encontrarse, además, oligoelementos que también son responsables de otras acciones. Los principales grupos de aguas mineromedicinales son: **Aguas Cloruradas:** Predomina el anión cloruro y los cationes predominantes suelen ser el sodio, el calcio o el magnesio. La mineralización total debe superar un g/L. Las de muy alta mineralización (más de 50 g/L) suelen ser frías y las de baja mineralización suelen ser termales. Son estimulantes de múltiples funciones orgánicas. Las acciones concretas sobre los sistemas orgánicos dependen de la mineralización total del agua y de la vía de administración. Se suelen usar en reumatología, dermatología, ORL, afecciones respiratorias crónicas, y en estados de agotamiento psicofísicos. **Aguas Sulfatadas:** Predominan los aniones sulfato con diferentes cationes. La mineralización total debe superar un g/L. Su mineralización y temperatura son variables. Por vía son colagogas, hepatoprotectoras y habitualmente, laxantes. Sus principales usos son en dispepsias digestivas y discinesias biliares. Estas aguas pueden compartir otros grupos de composición química, diversificando sus acciones y vías de administración., **Aguas Sulfuradas:** Contienen más de un mg/L de azufre bivalente, de ordinario bajo las formas de ácido sulfhídrico y ácidos polisulfhídricos. Su olor es característico a huevos podridos. Suelen tener materia orgánica que supone una fuente adicional de azufre elemento: Algas (bacteria), y bacterias (sulfobacterias o sulfuraria). El azufre bivalente se absorbe por todas las vías de administración. Tiene gran capacidad oxidoreductora sistemática. Estas aguas tienen su principal indicación en determinados procesos reumáticos, dermatológicos, ORL, y respiratorios crónicos, **Aguas Bicarbonatadas:** Predomina el anión bicarbonato y su mineralización global es superior a 1g/L. Suelen ser de baja mineralización y de temperatura de emergencia fría. Su uso es, sobre todo, en bebida. Estimulan la secreción enzimática pancreática, aumentan el poder saponificante de la bilis, alcalinizan la orina y también el pH gástrico. Estas aguas pueden compartir otros grupos de composición química diversificando sus acciones y su vía de administración., **Aguas Carbogaseas:** Contienen una concentración mayor de 250 mg/L de carbónico libre. Por vía oral son estimulantes de la secreción gástrica y del peristaltismo intestinal. Durante la balneología se producen una vasodilatación arterial y de los plexos venosos cutáneos, utilizándose en el tratamiento coadyuvante de arteriopatías obliterantes, **Aguas Radiactivas:** Son las que contienen radón -gas radiactivo de origen natural- en concentraciones superiores a 67.3 mBq/L. Las dosis de radiactividad aplicadas en las curas termales nunca suponen un riesgo, y por el contrario han demostrado beneficios sobre el sistema neurovegetativo, el endocrino y el

immune. Este tipo de aguas se utilizan, principalmente, en reumatología, afecciones respiratorias crónicas, y trastornos infraneuróticos, **Aguas Oligometálicas o de débil mineralización**: Son aquellas que tienen una mineralización total entre 50 y 500 mg/L. Muchas se utilizan como agua de mesa. La principal característica es la diurética. Pueden producir mas diuresis que el agua ingerida y variar el pH de la orina. La presencia de gas carbónico puede variar estas propiedades. Se emplean en litiasis renales úricas, **Aguas Ferruginosas**: Contienen hierro bivalente en mas de 1 mg/L. Suelen ser, además, bicarbonatadas o sulfatadas. La biodisponibilidad del hierro en estas aguas es muy alta por la presencia, generalmente, de otros oligoelementos. Por vía oral su utilidad es el aporte de hierro.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados alcanzados, tanto para la caracterización geológica e hidrogeológica se representan en los mapas 1, 2 y 3. En el mapa No 1 se muestran las características geológicas del Yacimiento el Viso. Resalta la presencia del grupo El Cobre de edad Paleoceno Inferior-Eoceno Medio, este se divide en tres miembros que yacen concordantemente El Caney, Hongolosongo y Yarayabo. Se aprecia El Miembro El Caney que está representado en el sector El Viso y se encuentra compuesto por tobas básicas con granulometría lapillica-aglomerática, en menos cantidad tobas psamíticas con intercalaciones de basalto, andesitas y tufitas de psamíticas a lapillicas. Las tobas según el material predominante, litoclastos, vidrio volcánico, cemento; y vitroclastos o cristaloclastos, presentan diferentes combinaciones, siendo las más abundantes las



vitrocristaloclasticas y

#### Anexo No 1. Mapa geológico del Yacimiento El Viso

O sea las litoclasticas juegan el papel fundamenta, siguiéndoles las cristaloclastos y por ultimo litoclastos Los de menor abundancia son los litoclastos de rocas efusivas con estructuras microlíticas e intensos procesos de oxidación de acuerdo a la naturaleza de los cristaloclastos se puede decir que las tufitas son básicas .

El cemento es pobre y se encuentra representado por vidrio volcánico con estructuras de burbujas y fluidales con procesos de zeolitización, carbonitización, cloritización, alteración de minerales hidromicáceos, además este vidrio puede estar mezclado con carbonato de calcio microcristalino sedimentario o este ultimo puede solo formar el cemento .

Además de este carbonato de calcio en el cemento como en el material sedimentario podemos encontrar fragmentos de calizas microcristalinos y organismos sustituidos por calcita, estas rocas presentan un alto grado de agrietamiento .

El submiembro Inferior (Hongolosongo) se distribuye en la parte Norte del sector El Viso y está compuesto por tobas medias y ácidas psamíticas .

El Submiembro superior (Hongolosongo) Se distribuyen en los sectores menos perspectivos, La Caoba y El Cocal en el sector El Cocal tenemos presentes tobas de composición ácidas psamíticas con intercalaciones de tufitas aleurolíticas calcáreas y clastos lavas . En la Caoba predominan las tobas lapillicas de composición ácidas y medias, con pequeñas intercalaciones de areniscas tobáceas, a continuación se presentará una breve caracterización petrográfica de algunas variedades de rocas en los sectores de La Caoba y El Cocal .

En el Miembro Yarayabo: Predominan las lavas y tobas de composición básica raramente riolitas, tobas de diferentes fragmentación , brechas volcánicas, además intercalaciones de calizas y tufitas .También presenta conglomerados y areniscas.

El corte de este miembro termina con lentes de calizas de distintas potencias , además de conglomerados tobaceos y areniscas tobaceos. La potencia de los depósitos de este miembro es mayor de 1500m.Los depósitos cuaternarios están representados por depósitos aluviales del Río El Maisí, arenas arcillosas predominantemente de composición vulcanogeno y vulcanogeno sedimentarias.

En el plano estructural el área investigada esta asociada al Bloque Oriental Cubano. El cual presenta una tectónica muy compleja debido a la presencia en el de varios sistemas de fallas, incluyendo la falla Battlet, la cual es una falla transformante que separa las placas Norteamericanas y Caribe.

La secuencia sedimentaria vulcanógena de la formación El Cobre yace en un monoclinal grande que constituye el flanco Norte de un antiguo arco de islas (Arco de Islas Volcánico del Paleógeno). La existencia de dos grandes sistemas de fallas submerdionales y sublatidionales determinan la estructura en bloques de la región .Se destacan bloques tectónicos ubicados entre El Poblado El Cobre y El Caney .

El primer bloque tectónico está limitado al Oeste por una falla meridional que pasa por el curso medio del Río El Cobre y por el Este por una falla submerdional la cual pasa por el Río Dajao , aquí se ubican los sectores La Caoba y El Cocal .

El segundo bloque comienza desde la falla del Río El Dajao y termina al Oeste con las fallas submerdional,(NE-CON 20° ) que pasa por el arroyo Zacateca . a este bloque es que se asocia la tectónica del sector El Viso .



La formación de los bloques tectónicos concluyó seguramente en el Eoceno Inferior, ya que el miembro Yarayabo y el submiembro Hongolosongo se caracterizan por su yacencia tranquila.

El agua en este sector está asociada a una zona tectónica con dirección de 45° NE e inclinación de 80° a 85° grados con una potencia aproximada de 60 m a esta convergen otros sistemas de fallas en forma de plumaje que pueden ser sus tributarias en esta zona se encuentran los procesos metasomáticos, observándose carbonización y zeolitización como principales procesos.

Características hidrogeológicas: En el yacimiento El Viso las condiciones geológicas estructurales que regulan la circulación del agua subterránea la corresponden con las de un macizo de rocas vulcanógeno sedimentarias agrietadas donde las zonas de mayor productividad corresponden o localizan en las zonas de falla así tenemos que los pozos con mayor productividad se ubican sobre una zona de falla con dirección SO-NE en la cual también se encuentra ubicado el pozo nombrado Méndez.

El acuífero se comporta generalmente como freático, pero en las zonas tectónicas puede alcanzar presiones de (2 hasta 3 m) de altura. lo cual es destacado durante el proceso de perforación, en ningún momento los pozos surgieron a la superficie.

Las rocas encajantes a la zona de rocas colectoras o de falla son de baja permeabilidad ya que los pozos V-3, V-4, V-5 tuvieron poca productividad.

Por otro lado las potencias con mayor porosidad de las rocas oscilan entre 1m hasta 12m y teniendo en cuenta el estudio del módulo de agrietamiento y fragmentación de las rocas en los diferentes pozos se puede apreciar que coinciden con las zonas detectadas por el carotaje y otras pequeñas zonas que no coinciden.

Teniendo en cuenta que el acuífero es por fisura, las potencias hidrogeológicas pueden considerarse como el 50% de la altura de la columna de agua en los pozos ya que estaban agrietadas en todo la potencia en mayor o menor grado.

No obstante se calculó la potencia acuífera a partir de la transmisividad media y el coeficiente de filtración medio obtenidos de los gráficos de bombeo de larga duración y resultado ser de 28m.

Las zonas de mayor permeabilidad se encuentran asociados a las zonas de falla y de mayor figuración detectados por los métodos geofísicos.

La mineralización media es de 0.7g/l y los valores inferiores son poco frecuentes la temperatura del agua se mantuvo entre 24,5°C y 25,5°C durante todo el periodo observado. De acuerdo a los análisis químicos realizados en todos los pozos perforados se pudo apreciar que la composición química es similar incluido el pozo Méndez y durante los bombeos realizados de 10-30 días la composición química del agua esta relacionada con las litologías presentes en la Formación el Cobre miembro El Caney tales como tobas, tufita, basalto, calizas etc.

Las aguas estudiadas son de tipo hidrocarbonatadas calcicas, magnesianas, silíceas. teniendo en cuenta todo lo antes expuesto, el agua estudiada responde como agua mineral natural de mesa, ya que mantiene sus propiedades físico-químicas y bacteriológicas estables y además es similar a las aguas minerales de mesa del yacimiento Kievská URRS

Según los análisis realizados por los iones predominantes las aguas se clasifican como hidrocarbonatadas calcico sodicas e hidrocarbonatadas calcicas magnesianas. Esta composición química se relaciona con las litologías presentes en la formación El Cobre (miembro Caney) representadas por tobas, tufitas, basaltos y calizas.

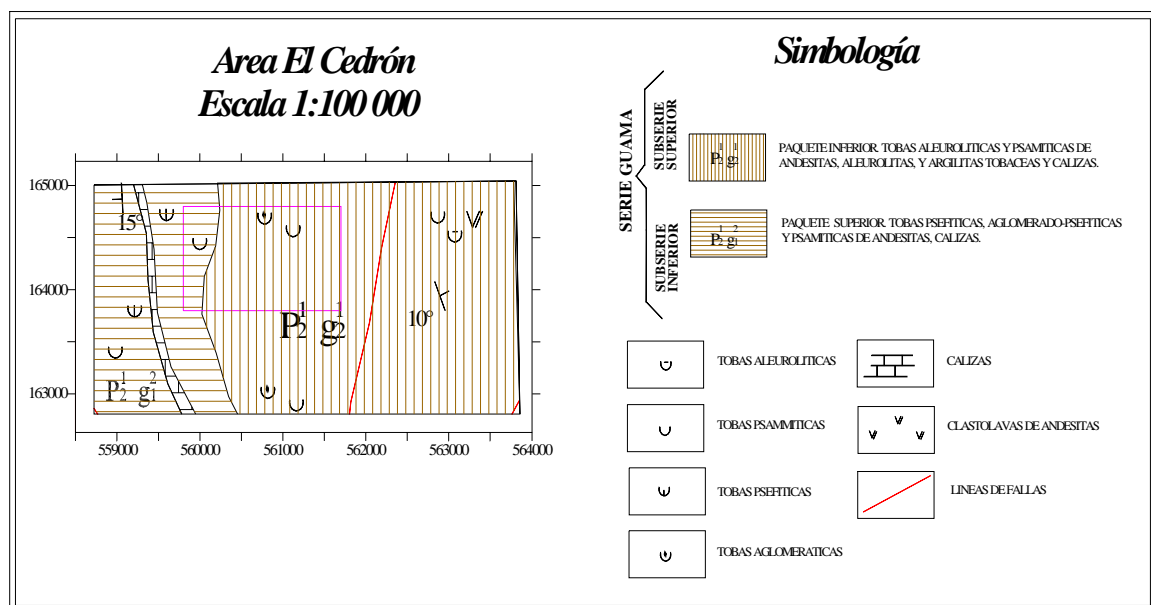
Son apreciables las altas concentraciones de silicio con valores hasta 90 mg/l dada por las rocas volcánicas que producto a su intemperización hacen posible la disolución del silicio en el agua, ya que este elemento se encuentra en la frontera de la zona de precipitación de los hidróxidos insolubles y de los aniones complejos solubles que en

un clima templado y en presencia de pH ligeramente ácido en el agua provoca la formación de  $H_2SiO_3$  por lo que las aguas por este componente medicinal la clasifica como Silíceas. Por la temperatura son aguas hipotermales, con temperaturas entre 21 y 24° C.

Su uso se recomienda, sobre todo, en bebida. Estimulan la secreción enzimática pancreática, aumentan el poder saponificante de la bilis, alcalinizan la orina y también el pH gástrico, y es un estimulante del crecimiento celular

## Yacimiento El Cedrón

Anexo No 2. Mapa geológico del Yacimiento El Cedrón



En el mapa No 2 se aprecian las características geológicas e hidrogeológicas más importantes resultado del análisis de los trabajos realizados en el yacimiento El Cedrón.

En el mismo se aprecia la presencia fundamentalmente de las rocas de las formaciones EL Cobre, Charco Redondo, Río Macío así como cuerpos de dioritas, dacitas y andesitas.

En los perfiles de las diferentes regiones donde afloran las rocas de la formación El Cobre estas rocas, las relaciones mutuas y proporciones de los distintos componentes son variados y no siempre es posible establecerle predominio de un tipo de roca sobre otro o delimitar con exactitud la extensión de ellas, debido a que gradualmente pasan de un tipo a otro, exceptuando el extremo occidental, la Formación El Cobre está atravesada por rocas ígneas intrusivas hipabisales y diques. Los cuerpos mayores son los macizos dioritoides de Daiquirí, Nina-Nina y Bayamita.

Como consecuencia de la penetración y consolidación de los cuerpos intrusivos o hipabisales, las rocas que ellos instruyen (vulcanogeno-sedimentarias) sufrieron en mayor o menor grado las alteraciones del metamorfismo de contacto como consecuencia del metamorfismo de los granitoides sobre las rocas calcáreas vecinas se formaron varios

cuerpos de minerales de hierro que constituyen yacimientos de tipo Skarn. Por otra parte la Formación El Cobre esta rica en otros minerales de cobre y otros .

LA formación Charco Redondo está constituida por calizas compactas órgano detríticas ,fosilíferas, de color muy variable (blanco, pardo amarillento, amarillo, rosáceo, rojo amarillento )predomina la textura órgano detrítica subordinadamente aporcelanada y colíticas en la parte inferior de la secuencia son frecuentes las capas brechosas. En la parte basal se observan algunas capas de material redepositadas de la formación EL Cobre los fragmentos sub.-angulosos tienen tamaño variado .

La potencia de la fase varia de 50m a 200m. la caliza se caracteriza por su resistencia a la erosión en esta fase predominan dos tipos fundamentalmente de caliza, una conglomeratica con abundantes algas calcáreas y foraminíferos orbitoidales y otra densa con textura fina y compacta con predominio de foraminíferos bentónicos, la edad favorable es Eoceno Medio.

La formación Río Macío está constituida por bloques, cantos rodeados, gravas, arenas arcillosas, derivadas de la erosión fluvial de los macizos rocosos presentes en la región. La edad es presumiblemente Cuaternario.

En la región de los trabajos se distinguen cuatro tipo de sistemas de fallas

1- El sistema más viejo es de las fallas disyuntivas de rumbo NO-SE el que se estima como disyuntiva de la dirección compresiva de la fase Cubana y coinciden con la Formación de la falla lateral de la fosa de Barttlet .

2- Las fallas disyuntivas derivadas del desplazamiento lateral(tangencial) a lo largo de la falla Barttlet, tienen rumbo NE-SO

3- Las fallas compresivas del mismo desplazamiento con fallas laterales de rumbo NE-SO y en la mayoría de los casos se forman por el rejuvenecimiento de las fallas disyuntivas Cubanas .

4- Las fallas disyuntivas de rumbo O-E ,ENB-OSO son las fallas marginales y meridionales de la zona, situarse en el plano de la Sierra Maestra es el mas joven de los cuatro sistemas. Observándose una mayor concentración de estas en las cercanías del pozo caliente hacia el NE. Aquí los diques se encuentran con una frecuencia de 20m a 60m y la potencia es de 1,5m hasta 6m.

La estructura tectónica del sector de los trabajos es relativamente simple y está representada por un monoclinal con un buzamiento de las capas de 50 a 115 grados y un Angulo de 10 a 15 grados .

Las dislocaciones disyuntivas son numerosas y se descifraron muy bien en las fotos aéreas marcados por los elementos del relieve y la vegetación por lo que no se observan en ellos desplazamientos considerables(grietas tectónicas).

A veces estos se acompañan de zonas de trituración con potencias de 4m y en azimut de dirección de 80 a 90 grados, estrías de deslizamiento y sistemas de grietas tectónicas en los conglomerados tobaceos con azimut 80 a 70 grados. La superficie es débilmente ondulada, con espejos de fricción estrías de desplazamiento orientadas con un Angulo de 60 grados al norte, el tipo de falla cinético de desplazamiento corrimiento.

El agua termal esta asociada a una zona tectónica con dirección e 53 grados NE e inclinación de 80 grados a través de la cual se observan los manantiales termales

Las aguas subterráneas que se encuentran más difundidas en la región de los trabajos están asociados a las rocas de la Formación El Cobre .representadas en su mayor parte por rocas efusivas y Vulcanogeno-sedimentarias que incluyen lavas, aglomerados tobaceos, tobas, tufitas e intercalaciones de calizas organógenas la permeabilidad vertical es muy pequeña en comparación con la horizontal lo que se debe a las fracturas tectónicas, los diques constituyen las principales barreras verticales de las rocas vulcanógenas, también debido a las fallas verticales las capas permeables pueden

situarse frente a capas impermeables dando origen en ella a importantes barreras verticales.

En la zona de facturación tectónica podemos encontrar mayor cantidad de agua pero la retención del agua en las mismas es poca debido a su fuente morfológica.

Las caudales específicos mas frecuentes son de 0,2 l/s por otra parte las aguas de las zonas tectónicas salen en la superficie en forma de manantiales, algunas en épocas de secas. las rocas de la Formación El Cobre presentan diferentes grados de alteración y por lo tanto presentan diferentes características hidrogeológicas .

- Rocas descompuestas :

Se presentan como material arenoso arcilloso de color verduzco, pero coherente, friable representadas en las laderas de los valles y generalmente están ausentes por debajo de los aluviones y terrazas, su espesor varia entre 2 a 8 m, su permeabilidad es muy alta.

- Rocas alteradas :

Presentan alta permeabilidad, presentan colores variados gris, gris verdoso, gris parduzco y pardo aflora en toda la región de la sierra maestra .

- Rocas frescas con fracturas alteradas:

Aflora en los causes de los ríos, las fracturas generalmente están selladas por calcita no son permeables y solamente en fracturas tectónicas de consideración tienen agua. La fuente principal de alimentación de las aguas subterráneas en este tipo de rocas son las precipitaciones atmosféricas. Las aguas generalmente son dulces, de baja mineralización por su composición química son hidrocarbonatadas sódicas magnesianas y a veces calcicas.

Las aguas de alta mineralización de la Formación El Cobre están asociadas a surgencias de fuentes termales como es el caso. De la manifestación de cruce de los baños en la finca el Cedrón. En la región también se desarrollan calizas de la Formación Charco Redondo las cuales pueden proporcionar caudales considerables de agua, generalmente de carso y de grietas en la región de la Sierra Maestra son las rocas de mayores características acuíferas.

Por su composición química las aguas en general son aguas sulfatadas calcicas sodicas , exceptuando algunas pocas como hidrocarbonatadas sulfatadas calcico sodicas, se destaca contenido de potasio , alcanzando valores hasta de 383 mg/l, los valores de sodio y calcio son significativos . El pH informa del carácter ácido o alcalino de un agua, que puede estar influido por el CO<sub>2</sub> disuelto, la cantidad de carbonatos y bicarbonatos que contenga, etc. Estas se clasifican desde débilmente básicas a neutras. Por su temperatura son aguas hipertemales alcanzando valores desde 41 a temperatura elevada representa un factor activo que genera mayores efectos terapéuticos: favorece la vaso dilatación -con la cual se mejora la oxigenación de los tejidos en la zona afectada-, la liberación de sustancias que producen efecto antiinflamatorio y calma el dolor porque relaja los músculos. Por su acción sistémica, provoca una sensación de bienestar, además las aguas termales pueden ayudarnos a aliviar problemas respiratorios o de estrés con su aplicación mediante distintas técnicas. Por una parte, podemos hacer que nuestros pulmones respiren mejor realizando inhalaciones<sup>420</sup> . En este yacimiento por sus características desde el punto de vista mineral son aguas sulfatadas calcicas sodicas. Por sus elevados contenidos de sodio , potasio, calcio y cloruros presentan alto valor terapéutico, ya que el sodio interviene en todos los procesos biológicos, siendo característico su poder Hidratante. Sirve como regulador de los procesos permeables en el ámbito celular, El potasio ayuda a mantener el equilibrio iónico en el organismo, siendo de gran importancia en el tono muscular, y en la actividad del sistema nervioso y el calcio desempeña importantes funciones a nivel extracelular, siendo esencial en la actividad del sistema nervioso, del corazón,

coagulación de la sangre, equilibrio electrolítico. En sentido general son múltiples los usos de las aguas del yacimiento en cuestión

### **Yacimiento La Cuquita**

Está ubicado en la porción más al Sur del anticlinorio Sierra Maestra en su parte emergida, la composición geológica predominante lo constituye los depósitos vulcanógenos y vulcanógenos sedimentarios, así como rocas sedimentarias mas jóvenes que los sobreyacen.

Las formaciones vulcanogenas sedimentarias y sedimentarias de la región son las siguientes: La Formación de la Bruja se encuentran desarrolladas hacia el Oeste y el Este del Río Turquino. En cuanto a su estructura las mismas son parte del monoclinial de la Sierra Maestra. Según la composición litológica se divide en dos miembros el inferior y el superior. La yacencia de los miembros se supone concordante.

Las rocas de esta Formación Uvero están ampliamente difundidas en la región y constituyen las de predominio en el sector de los trabajos ha descrito angular entre la Formación Uvero y el miembro inferior de la Formación la Bruja, ha sido descrito su correlación lateral con la Formación Jobo .

El corte de la Formación Uvero esta representado por una frecuente ínter estratificación de areniscas tobaceas, calizas, calcarenitas ,tobas aglomeráticas ,psamitas y de fragmentos gruesos de composición andesito-basaltos .

El limite inferior de la Formación pasa por el cambio de tobas aglomeráticas de fragmentos gruesos por la secuencia estratificada de rocas tobaceas –sedimentarias de color abigarrado (areniscas tobaceas, aleurolitas, calizas ,tobas.) y la formación Guamá tiene su desarrollo al Norte de la zona de los trabajos. Las rocas de la Formación Uvero yace en concordancia con esta Formación. el corte de la Formación esta compuesto principalmente por tobas aglomeráticas de composición andesito basaltico, a las cuales se subordinan diferencias de fragmentación media fina, pequeñas intercalaciones de las rocas tobaceas sedimentarias, a veces se notan mantos de lavas basálticas y andesito basálticas .

Por la composición litológica se dividen en tres miembros : el inferior, el medio, el superior . la yacencia de los miembros es concordante .

- Formación Jaimanitas :

Estos depósitos tienen una distribución limitada en la región los mismos se observan a lo largo del litoral(costal) marino en forma de una faja casi continua de rasgos complejos. están representados exclusivamente por arrecifes, algunos autores la atribuyen a la Formación Jaimanitas. la edad es presumiblemente Pleistoceno

- Formación Río Macío :

Esta Formación se sitúa al este del sector en los alrededores del Río las Bayamita y al oeste en el Río las Brujas. Esta constituida por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas producto de la erosión fluvial y regional. esta yace discordantemente sobre todas las Formaciones viejas .su edad es Holoceno .

- Formación jutia:

Tiene un desarrollo limitado en la región, pero reviste interés para el sector, describiéndose 2 áreas de propagación al Sur y Sureste. esta formado por sedimentos palustre de color pardo oscuro o negro .

Los movimientos tectónicos se manifestaron mas en dislocaciones disyuntivas en sectores de alto agrietamiento de las rocas las direcciones predominantes de las fallas son Noreste y Noroeste .

Los pliegues pequeños se alteran generalmente con la yacencia monoclinial de las rocas de buzamiento norte, en el sector de los trabajos la tectónica disyuntiva presenta igual tendencia y complejidad como las propias descritas para la región .



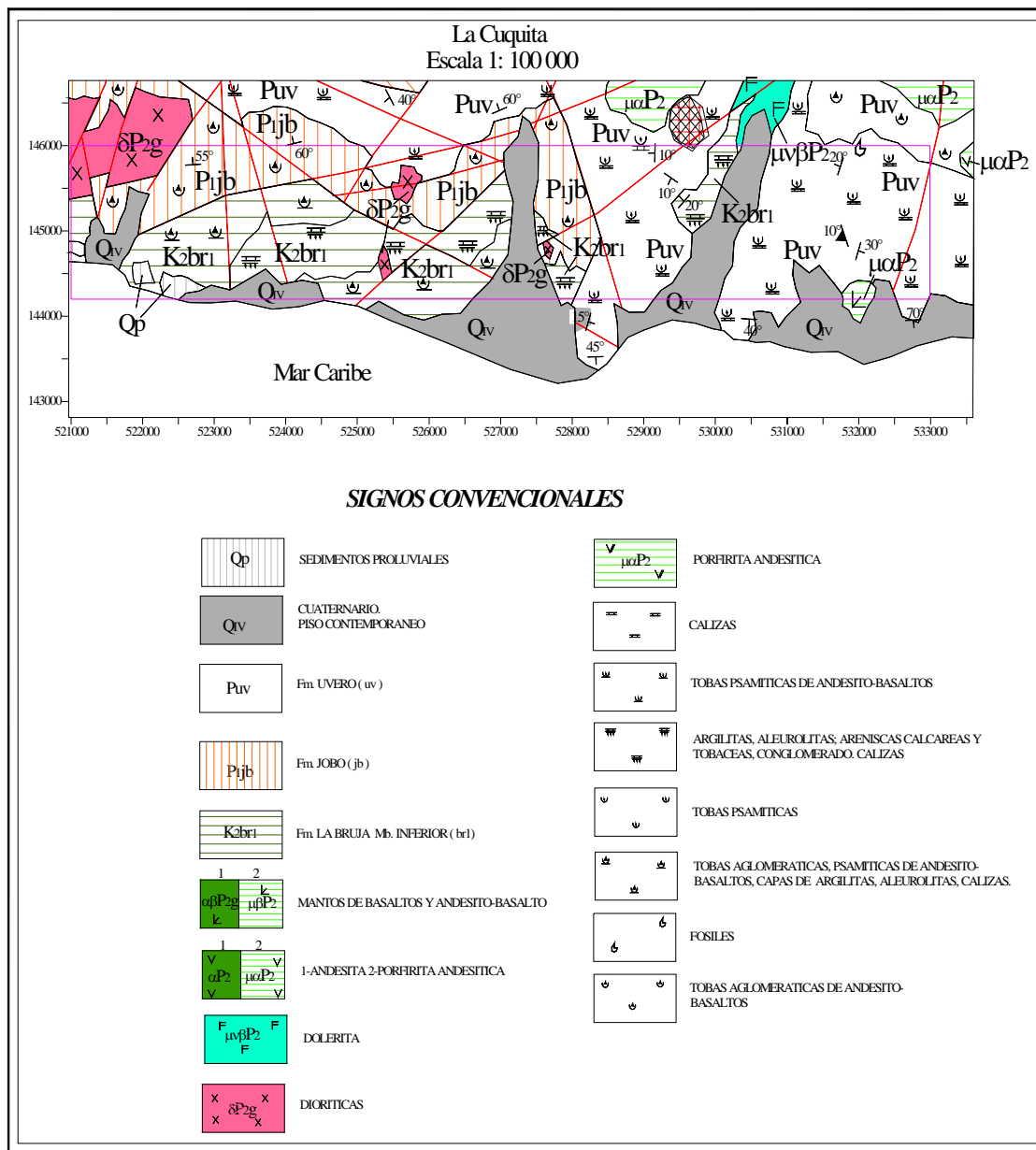
En la zona de Los trabajos el grado de estudio hidrogeológico es prácticamente nulo no obstante se prevé descubrir 3 horizontes acuíferos correspondientes a las rocas de las Formaciones Jaimanita, Uvero, Guama, aquí se esperan obtener caudales propios de zonas de falla .

En las muestras estudiadas se detecta la presencia de altas concentraciones de bario, calcio, sodio, plomo. Manganeseo, titanio, vanadio, hierro y aluminio. Son aguas que poseen mineralización que oscilan entre 0,42 hasta 10.5g/l, clasificándose las mismas desde muy dulces hasta muy saladas y minerales. Son aguas mesotermiales o calientes con temperaturas de hasta 38<sup>0</sup> C Por sus características a partir de su temperatura y los elementos químicos presentes en elevadas concentraciones estas pueden ser aplicadas con fines terapéuticos ya que las mismas mejoran patologías como:

- Reumatismos crónicos inflamatorios, pasada ya la fase aguda-Artritis reumatoidea, seropositivas o negativas, formas juveniles, etc..  
Reumatismos crónicos degenerativos: distintas formas de artrosis (columna,caderas,codos,rodillas,manos,etc.).
- Reumatismos particulares: fibrositis, miositis, neuralgias(citicas, cérvicobraquialgicas,.  
Reumatismos metabólicos, en especial la gota.  
Secuelas de traumatismos, intervenciones quirúrgicas, hemiplejias, distrofias .
- Afecciones crónicas del aparato respiratorio: asma bronquial crónica, bronquitis crónica, laringitis, sinusitis y faringitis crónica en especial las de origen alérgico
- Afecciones de la piel rebeldes a terapéuticas habitualesy  
neutralizan la acidez (bebidas en ayunas). Después de las comidas, facilitan la secreción de jugos gástricos y mejoran la digestión dispepsias

Además pueden ser utilizadas para equilibrar la actividad del intestino, de las vías biliares y del hígado. Cuando el hígado está cansado provoca dificultades digestivas, soñolencia, mal aliento, boca pegajosa al despertarse y sensación de cansancio constante. Pero atención, tratándose de aguas saladas (cloruro-sódico) hay que tratar de evitarlas, un verdadero y propio tabú para quien sufre de molestias renales. Del contenido de cloruro, que supera los 200 mg. por litro, además para reintegrar la pérdida de sodio que ocurre cuando se suda abundantemente. Durante los entrenamientos más pesados y prolongados, sobre todo al abierto y si hace calor. Sin embargo, deben usarse con cautela porque nuestra alimentación ya es rica de sodio (12.000 mg. al día, contra los 5.000 indicados como límite por la Organización Mundial de la Salud), son absolutamente prohibidas para el que sufre de hipertensión, celulitis o edemas. Por el contenido de sodio, que supera los 200 mg. por litro. También pueden ser empleadas para mejorar la actividad del intestino y depurarlo (tienen un poder levemente laxativo). Cuando el intestino es perezoso y en los casos de colitis espástica. Es mejor beberlas por la mañana, en ayunas, a pequeños sorbos. No son indicadas en la fase de crecimiento (ni para las mujeres embarazadas) porque interfieren con la absorción de calcio. Desaconsejadas si están prohibidos los purgantes salinos. Por el hecho de que contienen más de 200 mg/l de sulfatos.





Anexo No 3. Mapa geológico del Yacimiento la Cuquita

## CONCLUSIONES

- Geológicamente el yacimiento El Viso se encuentra representado por la formación El Cobre de edad paleoceno inferior-eoceno medio, se divide en tres miembros que yacen concordantemente El Caney, Hongo losongo y Yarayaboy. En el plano estructural el área investigada está asociada al bloque oriental cubano el cual presenta una tectónica muy compleja debido a la presencia en el de varios sistemas de fallas, incluyendo la falla Bartlett. Hidrogeológicamente las rocas de la formación El Cobre, se caracterizan por presentar una permeabilidad baja en sentido vertical, son poco acuíferas y sus aguas son de tipo estratofisurales
- En el yacimiento El Cedrón se desarrollan fundamentalmente las rocas de las formaciones El Cobre, Charco Redondo, Río Macío, así como cuerpos de dioritas, dacitas y andesitas. La estructura tectónica del sector de los trabajos es relativamente simple. Hidrogeológicamente las aguas subterráneas que se encuentran más difundidas en la región de los trabajos están asociadas a las rocas de la formación El Cobre

.representadas en su mayor parte por rocas efusivas y vulcanogeno-sedimentarias que incluyen lavas, aglomerados tobaceos, tobas, tufitas e intercalaciones de calizas organógenas la permeabilidad vertical es muy pequeña en comparación con la horizontal lo que se debe a las fracturas tectónicas, los diques constituyen las principales barreras verticales de las rocas vulcanogenas, también debido a las fallas verticales las capas permeables pueden situarse frente a capas impermeables dando origen en ella a importantes barreras verticales.

3. El yacimiento La Cuquita predominan los depósitos vulcanógenos y vulcanógenos sedimentarios, así como rocas sedimentarias mas jóvenes que los sobreyacen. El grado de conocimiento hidrogeológico es prácticamente nulo no obstante se prevé descubrir 3 horizontes acuíferos correspondientes a las rocas de las formaciones Jaimanita, Uvero, Guama, aquí se esperan obtener caudales propios de zonas de falla .

4. Por los iones predominantes las aguas del yacimiento El Viso se clasifican como hidrocarbonatadas calcico sodicas e hidrocarbonatadas calcico magnesicas, son apreciables las altas concentraciones de silicio con valores hasta 90 mg/l, son aguas de ligeramente ácidas a ligeramente básicas y neutras, son . Son Aguas dulces ,medio frías desde algo duras hasta duras y se recomienda su uso sobre todo, en bebida ya que estimulan la secreción enzimática pancreática, aumentan el poder saponificante de la bilis, alcalinizan la orina y también el ph gástrico, y es un estimulante del crecimiento celular.

Por los iones predominantes las aguas del yacimiento El Cedrón se clasifican como aguas sulfatadas calcicas sodicas, exceptuando algunas pocas como hidrocarbonatadas sulfatadas calcico sodicas, termales. Algunas de estas muestras se destaca contenido de potasio, son desde débilmente hasta poco salinizadas , termales alcanzando hasta 38° C, son aguas muy duras, alcanzando valores hasta 22, 46 mgeq/l.por su temperatura elevada representa un factor activo que genera mayores efectos terapéuticos: favorece la vaso dilatación -con la cual se mejora la oxigenación de los tejidos en la zona afectada-, la liberación de sustancias que producen efecto antiinflamatorio y calma el dolor porque relaja los músculos.

Por sus elevados contenidos de sodio , potasio, calcio y cloruros presentan alto valor terapéutico.

5. Por los iones predominantes las aguas del yacimiento La Cuquita son cloruradas sulfatadas .Y por su composición catiónica calcicas sodicas, se detecta la presencia de altas concentraciones de bario, calcio, sodio, plomo. Manganeso, Titanio, Vanadio, Hierro y Aluminio, clasificándose las mismas desde muy dulces hasta muy saladas, por su ph son en su mayoría neutras , son aguas termales con temperaturas de hasta 42° . Por su temperatura y los elementos químicos presentes en elevadas concentraciones estas pueden ser aplicadas con fines terapéuticos ya que las mismas mejoran diferentes patologías(ver capitulo v)

## BIBLIOGRAFÍA

Cibeira Moreiras, Rosa. Los primeros usos del agua termal y mineral. Ponencia realizada en las Jornadas Internacionales 2000 de Turismo, en la ciudad de Federación-

- Batista, J., Rodríguez, R. L., 1996. Regularidades hidroquímicas del yacimiento de aguas mineromedicinales y termales Menéndez. *Minería y Geología*, 13(1), 43-51.
- Canal, L., 1992. Prospección preliminar y detallada de aguas de mesa. Trinidad. Trabajo de diploma. Fondo geológico, ISMM, Moa, 68pp.
- Carballoso, E.R., 1992. Evaluación de aguas minerales naturales de mesa en Chaparra. Las Tunas. Trabajo de diploma. Fondo geológico ISMM, Moa, 65pp.
- Contreras, C., 1991. Características hidrogeológicas de las aguas termominerales del yacimiento Menéndez. Trabajo de diploma. ISMM. Moa. 54pp.
- Corratje, R., 1980. Geología e Hidrogeología de la parte sur de la Sierra Canasta, Guantánamo. Trabajo de diploma. ISMM, Moa, 51pp.
- Gilbert, Agustín. Propiedades y efectos terapéuticos de las aguas termales. [www.termasalud.com](http://www.termasalud.com)
- Ojeda, M., M., 1992. Evaluación Hidrogeológica del sector Espejo. Agua natural de mesa, Santiago de Cuba. Trabajo de diploma. Fondo geológico, ISMM. Moa. 76pp.
- Pérez, M., 1995<sup>a</sup>. Características Geológicas e Hidrogeológicas de las aguas mineromedicinales de Cuba. Trabajo de diploma. Fondo geológico, ISMM. Moa. 43pp.
- Puente, F. M., 1989. Proyecto de búsqueda de aguas mineromedicinales San Diego-Bermejales. Trabajo de diploma ISMM. Moa. 56 pp.
- Rodríguez, S., 1990. Características hidrogeológicas del yacimiento de aguas termominerales Elguea, relación entre sus condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas. Cálculo de reservas. Trabajo de diploma ISMM. Moa. Cuba. 76 pp.
- Rojas, J., 1996. Caracterización y valoración de las aguas subterráneas de la zona Monte Alto para su embotellamiento como agua mineral. In J. R. Fagundo, D. Pérez Franco, J.M. García, A. Álvarez, I. Morell. (eds). *Contribución a la hidrogeología y el medio ambiente en Cuba*. Castellon, España, universitat Jaume I Púb., 225-236.
- Rojas, J., 1992. Estudio Hidrogeológico del yacimiento de aguas termominerales la Fragua y la Aurora. Trabajo de diploma ISMM. Moa. Holguín. Cuba. 50 pp.
- Serge Ikia-N. de., 1990. Metodología de las investigaciones de las aguas mineromedicinales del sector la Cuquita, Guamá. Trabajo de diploma ISMM. Moa. Holguín. Cuba. 88 pp.
- Suárez, S., 1991. Evaluación Geológica hidrogeológica del sector de mesa Guantánamo. Trabajo de diploma. ISMM. Moa. 41 pp.



## INFLUENCIA DE LOS ASENTAMIENTOS EN LAS EDIFICACIONES

**Alcibíades Benito Macías LLauger<sup>(1)</sup>, Wilfredo Gonzáles Fonseca<sup>(1)</sup>**

*(1)Unidad de Investigaciones de la Construcción Habana, Carlos M. de Céspedes y 35, Plaza de la Revolución, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: enialabh@ceniai.inf.cu*

### RESUMEN

La presente investigación Geotécnica se realizó en un área ubicada en el Edificio Ignacio Clemente No 889 de Guanabacoa, Ciudad de la Habana, pues sus cimientos corridos fueron apoyados en estratos con diferentes características deformacionales, hacia el Oeste del Edificio en una arcilla muy blanda (muy compresible) y hacia el Este están apoyados sobre una serpentinita meteorizada.

Durante la investigación logramos determinar las causas que produjeron los agrietamientos estructurales de los muros de cargas y medianeros; las características geotécnicas y la resistencia deformacional de los estratos presentes en el área donde está ubicado el edificio; el comportamiento de los asentamientos diferenciales y absolutos y la Distorsión en varias partes del Edificio. Finalmente quedó demostrado que los asentamientos diferenciales y la Distorsión Angular sobrepasa los límites permisibles para este tipo de estructuras. Todo lo cual permitió llegar a las recomendaciones y conclusiones necesarias para resolver los problemas.

### ABSTRACT

A geotechnical site investigation is presented in an area located in Clement No. 889, Guanabacoa, and Havana City in which a building has suffered consolidation differential settlements. The reason of those problems is that the strip foundations of that building were established on layers with different strain properties. The western part of the building was founded of soft clay and the eastern part on weathered serpentine.

During the investigation the position and thickness of the layers were determined, the strain and strength properties of the different layers and the values of absolute and differential settlements in different parts of the building.

Finally it was demonstrated that the differential settlements were by far higher than the permissible for such structure and recommendations were given to solve the problems.

### INTRODUCCION.

La presente investigación Geotécnica fue solicitada por la Unidad Municipal de Inversiones de la Vivienda de Guanabacoa, pues los agrietamientos presentes en los muros provocaron alarma en los residentes del Edificio. Los objetivos propuestos son los siguientes:

- Las causas que produjeron los agrietamientos estructurales de los muros de cargas y medianeros.
- Las características geotécnicas y la Capacidad Soportante de los estratos.
- Comportamiento de los Asentamientos Diferenciales y Absolutos y la Distorsión Angular

### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL LUGAR.

El edificio de interés está ubicado en la Calle Ignacio Clemente # 889 e/ Narciso López y Zenea, Guanabacoa. El relieve antiguo formaba una depresión de unos 2.00 m de profundidad, la cual fue rellenada hasta alcanzar el nivel de terreno actual; geomorfológicamente esta área formaba parte de una vaguada por las cuales se evacuaban las aguas de la zona.



## **GEOLOGÍA GENERAL DEL AREA.**

La zona investigada pertenece desde el punto de vista geológico a la Formación Vía Blanca, cubierta por sedimentos arcillosos del cuaternario y rellenos antropogénicos.

## **VOLUMEN Y METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS.**

Describimos a continuación los trabajos realizados para investigar y determinar las causas que produjeron los agrietamientos estructurales del edificio mencionado, cuyos resultados fueron importantes para brindar las conclusiones y recomendaciones necesarias:

### **Trabajos de perforación.**

Fueron realizadas 4 calas con una máquina UGB-50M de nacionalidad Rusa, empleando el sistema rotario y agua a presión en la semiroca y el suelo gravoso (ver figura1).

### **Trabajos de topografía.**

La Comisión de Topografía realizó el levantamiento altimétrico, basado en la nivelación de las losas del primer nivel en los puntos de unión con los pedestales para determinar la magnitud aproximada de los asentamientos diferenciales sufridos por la estructura.

### **Trabajos hidrogeológicos.**

Consistieron en la medición del nivel freático el que se detectó a 1.0 m. en la Cala No. 2.

## **CONDICIONES INGENIERO GEOLÓGICAS DE LA ZONA.**

Después de terminados los trabajos de perforación se definieron las profundidades y potencias de los estratos presentes en el área, los cuales se describen a continuación:

### **Estrato No. 1**

Relleno heterogéneo (semisuelto), con matriz arcillosa color crema, con fragmentos calizos y restos de materiales de construcción (cerámicos, ladrillos, etc.). Se detectó en las calas 1 y 2. El espesor varía entre 1.60 m (cala 1) y 2.0 m. (cala 2).

### **Estrato No.2**

Arcilla, color crema, con fragmentos aislados de roca caliza (macadán), consistencia muy blanda. Se detectó en las calas 1 y 2. La potencia varía entre 1.50 m (cala 2) y 2.40 m (cala 1). La Capacidad Soportante es 0.4 Kg/cm<sup>2</sup>. El análisis se efectuó para un cimiento corrido de lado 2.5 m, y una profundidad de cimentación de 2.5 m.

### **Estrato No 3.**

Arcilla arenosa, color crema, con fragmentos aislados, de consistencia firme. Se detectó en las calas 1 y 2, La potencia varía entre 0.50 m y 1.0 m.



#### **Estrato No 4.**

Suelo gravoso, constituido por gravas envueltas en una matriz arcillosa de color crema, compacto. Se detectó a partir de los 4.50 m en las calas 1 y 2 hasta la profundidad investigada.

#### **Estrato No 5.**

Arcilla arenosa, de color carmelita crema, muy dura, con manchas blancas, fisurada. Se detectó en las calas 3 y 4. Alcanza una profundidad máxima de 3.40 m en las mismas.

#### **Estrato No 6.**

Caliza, de color gris claro, dureza media. Aparece a partir de los 3.50 m hasta la profundidad investigada.

Resistencia a la Compresión Simple ( $q_u$ ) = 30 Kg. /cm<sup>2</sup>

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

La Geotecnia en la zona investigada es compleja por lo que la solución que puede ofrecerse es también compleja, pues el recalce que debe hacerse en el Edificio para solucionar las anomalías requiere de un costo excesivo y una tecnología que no existe en el país.

Teniendo en cuenta la investigación realizada en el área de interés, podemos concluir lo siguiente:

Los cimientos del edificio se apoyaron en estratos con diferentes características deformacionales. En el Este se apoyan en una semiroca, y hacia el Oeste, entre los ejes del 1 al 5 (ver Figuras 2 y 3), en una arcilla muy blanda. Esto originó asentamientos diferenciales de magnitudes mayores a las permisibles por la estructura, lo que provocó el fallo de los muros y que lo manifestaran mediante grietas considerables. Los asentamientos diferenciales entre cimientos varían entre 0.30 cm. y 10.10 cm.

La Distorsión Angular alcanza un valor que varía entre 0.00083 y 0.019 (sobrepasando la permisible). Debido a que los cimientos de la parte Oeste del Edificio se encuentran apoyados en una arcilla muy blanda (con una elevada compresibilidad) y el espesor es considerable (1.50 a 2.40 m), y hacia el Este, los cimientos se apoyan en una semiroca. La Compresibilidad Secundaria es del orden de 0.0066 por lo que los asentamientos disminuirán, y por supuesto, serán menores las afectaciones estructurales.

Teniendo en cuenta que el edificio fue construido en la década del 80 del pasado siglo, y que ya deben haber ocurrido los asentamientos mayores, suponemos que solamente tendrán lugar asentamientos residuales. Por lo tanto recomendamos que se realicen chequeos de los asentamientos durante seis meses para verificar lo antes expuesto y de ser así proceder a la reparación del mismo. Anterior a esto la parte de proyecto debe analizar si la afectación sufrida por el edificio no peligró su estructura, ya que podrían haber variado las solicitaciones, si las deformaciones provocaron excentricidades de las mismas.

4. Se detectaron filtraciones de aguas albañales hacia el suelo en la zona más crítica del edificio (zona Oeste), procedentes de salideros existentes en las redes hidrosanitarias.

5. En cuanto a las condiciones hidrogeológicas podemos concluir que el nivel freático se detectó durante los trabajos de perforación a un 1.0 m de profundidad.





## **SOLUCIÓN DE ABASTO DE AGUA POTABLE AL POBLADO DE GUISA A TRAVÉS DEL “DREN FRANCÉS” SANTA BÁRBARA. GRANMA**

**José Joaquín Licea Fonseca**

*Unidad Empresarial de Base de Proyectos e Investigaciones. Granma.*

En el presente trabajo se define la metodología de cálculo utilizada en la evaluación de las reservas de explotación, con vista a evaluar las potencialidades acuíferas de las terrazas aluviales del río Bayamo, para la construcción de un Dren Francés, el que tiene por objetivo garantizar un gasto de 176 L/s para dotar del servicio definitivo de abasto de agua potable al poblado de Guisa, garantizado con un saneamiento adecuado, ya que este municipio carece de agua subterránea por ser un territorio montañoso y sus potencialidades acuíferas no dan respuesta a las necesidades actuales de la población, las que se han agudizado en estos años, debido a la prolongada sequía que ha estado afectando a la provincia. En esta investigación se incluyen las características geológicas e hidrogeológicas del área de estudio utilizando diferentes métodos: perforaciones de pozos, aforos experimentales, excavaciones, ensayos de Laboratorio, topografía y el complejo de métodos geofísicos: Sondeo Eléctrico Vertical AB/2 max = 75 m, sísmica de refracción con excitación por golpes  $\Delta X = 1\text{m}$ , resistivimetría con salinización variante de trinchera cargada, estos métodos sirvieron para ilustrar los resultados de la investigación. En el desarrollo de la metodología de cálculo se utilizó el método hidráulico e hidrodinámico combinado, donde se determinaron los principales parámetros hidrogeológicos: coeficiente de filtración (kf), gasto específico, potencia acuífera, coeficiente de almacenamiento o porosidad efectiva, gasto de explotación y Transmisividad (T) a partir de las fluctuaciones de los niveles de las aguas subterráneas y sub-superficiales en acuíferos libres, dando como resultado un Dren en forma de Te con un frente de alimentación de (80,0 x 32,0) m, resultados que se presentan en tablas y anexos gráficos. En general, este trabajo ejemplifica las ventajas que presenta la evaluación de las reservas de las aguas de las terrazas aluviales para la construcción de Drenes Francés cuando no existen las posibilidades de agua subterráneas para satisfacer las necesidades de abasto de agua potable a poblaciones.



## SISTEMAS ACUÍFEROS DEL NORESTE DE LA PROVINCIA DE LA HABANA, CUBA

**L.F. Molerio León, E. Rocamora Álvarez**

CESIGMA, S.A., Apartado 6219, CP 10600, Habana 6, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: [leslie@cesigma.com.cu](mailto:leslie@cesigma.com.cu); [rocamora@cesigma.com.cu](mailto:rocamora@cesigma.com.cu)

### RESUMEN

Se revisan, con especial énfasis en los acuíferos cársicos (libres y confinados), el modelo conceptual y la estructura, condiciones de yacencia, propiedades físicas, composición química general y organización del flujo de los sistemas de flujo subterráneo distribuidos en el territorio costero que se extiende desde La Habana del Este hasta la margen occidental de la Bahía de Matanzas, donde se encuentran los siguientes tipos de acuíferos:

- Fisurado cársico, en las rocas carbonatadas del Neógeno-Cuaternario, donde forman tanto acuíferos locales y discontinuos como moderadamente productivos y extensos, esencialmente litorales, libres, de flujo difuso. Se trata de aguas que se explotan para abasto doméstico, recreativo y ganadero en Bacunayagua y Yumurí. Se describe, con detalle, un acuífero bastante potente, confinado o semiconfinado, que se encuentra en profundidad no afectado por intrusión marina, que se explota exitosamente para abasto con agua potable en Bacunayagua y Yumurí.
- Acuíferos de estrato, con recursos locales y limitados, asociados a estratos carbonatados de edad Paleógeno, pero, por lo común, sin recursos conocidos.
- Acuíferos fisurados no cársicos, de desarrollo muy local, libre, pero moderadamente productivo y discontinuo, asociado a las serpentinitas y que se emplea para abasto doméstico, riego de pequeñas parcelas de tierra y alimentación de ganado menor.
- Acuífero intergranular, desarrollado en depósitos aluviales Recientes y en areniscas Cretácicas, donde las primeras forman un sistema de flujo libre muy local, de limitada capacidad y extensión, discontinuo, de muy poca potencia no explotable con fines de abasto por presentarse salinizado en su parte inferior y poseer recursos muy limitados y las segundas un acuífero confinado, de baja productividad.

### ABSTRACT

The conceptual model and the structure, occurrence, physical properties, general chemical composition and flow organization of the groundwater systems that lies from Habana del Este to Matanzas Bay are revised in this contribution. The following aquifers have been found:

- Fissured karstic, in the Neogene-Quaternary carbonate rocks forming unconfined local and discontinuous aquifers as well as moderately productive and extensive aquifers. These waters are used for domestic, recreational and agricultural supply in Bacunayagua and Yumurí. With some detail is described one deep confined or semiconfined aquifer non affected by sea water intrusion aquifer.
- Interstratal aquifers, with local and limited resources associated to carbonate Paleogenic rockas.
- Non karstic fissured aquifers, local but moderately productive and discontinuous, linked wiuth the serpentines and used for domestic supply and irrigation of small parcels.
- Intergranular aquifer, developed in Recent alluvial deposits and in Cretaceous limestones. In the first case a very local aquifer, partially mineralized by sea water intrusion, of limited extension and resources is developed. Sandostones contains a deep confined aquifer of limited resources.

## INTRODUCCIÓN

El término Cuenca Costera Norte de La Habana se emplea, preferentemente, para designar la zona acuífera que bordea todo el litoral compuesta por la secuencia carbonatada Neógeno-Cuaternaria. Por ello, bajo esa denominación se identifica, en particular, el sistema acuífero cársico, discontinuo, de limitada extensión y espesor, somero, de tipo libre y flujo difuso que descarga tanto al mar como, a trechos, a las corrientes fluviales de tipo antecedente que desembocan en la costa norte, tales como los ríos Cojímar, Bacuranao, Tarará, Guanabo, Boca Ciega, Jaruco, Santa Cruz, Canasí, Puerto Escondido y Bacunayagua, entre otros. En ella, los bajos gradientes hidráulicos y, en general, la elevada transmisividad de las rocas acuíferas carsificadas provocan una elevada interacción entre la red fluvial y el acuífero, por un lado, y entre el mar y el acuífero, por otro.

Sin embargo, se reconocen vastas zonas en las que la acuosidad de estas mismas rocas es prácticamente nula, como es el caso de la Loma del Encanto, en la vertiente oriental de la cuenca del río Puerto Escondido y, complementariamente, otras unidades estratigráficas y complejos formacionales presentan una acuosidad de cierta consideración. En general, en estos casos se trata de rocas de diferente tipo, de edad Cretácico-Paleógena que forman acuíferos semiconfinados, semilibres y, aún, confinados. La composición física, química y radiosotópica de esta agua plantea nuevos problemas acerca de la posición de las zonas de alimentación, el proceso de adquisición de la composición química y el tiempo medio de residencia de las aguas en este territorio.

En consecuencia, los modelos conceptuales hidrogeológicos deben ser ajustados tomando en consideración la presencia de diferentes unidades acuíferas que no siempre están absolutamente aisladas y entre las que tiene lugar un importante intercambio de materia y energía. La exploración hidrogeológica llevada a cabo en los últimos años muestra que las aguas que yacen a profundidades próximas a los 100 metros están fuertemente relacionadas con los acuíferos someros.

Este trabajo resume los resultados de los trabajos de prospección hidrogeológica y de diseño y operación de redes de monitoreo del régimen y la calidad de las aguas subterráneas llevados a cabo por el autor en los últimos dos años.

## SISTEMA ACUÍFEROS

Se encuentran los tipos de acuíferos que se presentan en la Tabla I. La Fig. 1 muestra parte del área estudiada. Se excluyen de la tabla aquellos depósitos aluviales que forman un acuífero muy local, de limitada capacidad y extensión, discontinuo, de muy poca potencia no explotable con fines de abasto por presentarse salinizado en su parte inferior y poseer recursos limitados.

**Tabla I. Sistemas y unidades hidrogeológicas regionales.**

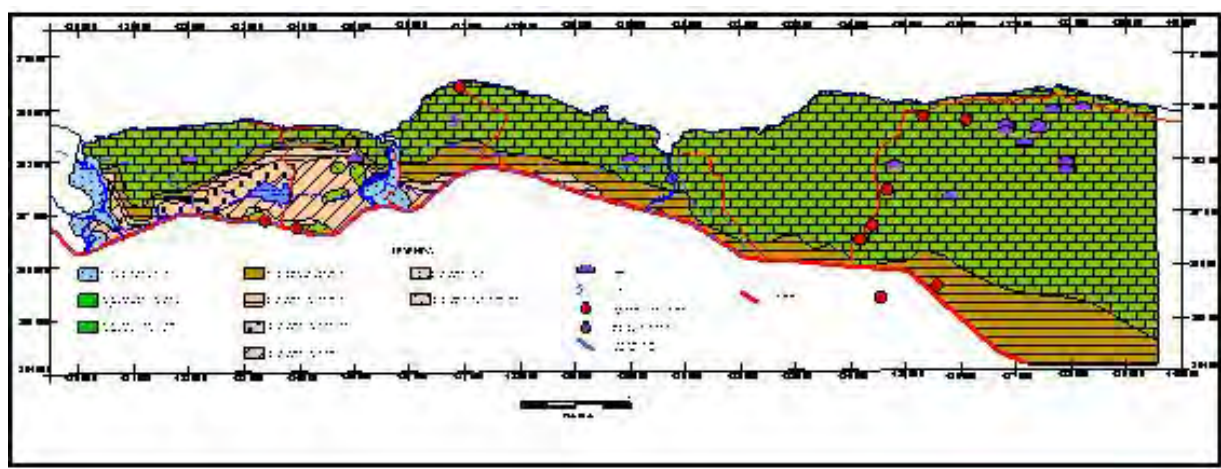
Unidad estratigráfica	Complejo tectonofacial	Tipo de acuífero	Productividad y extensión	Tipo de flujo	Características hidrogeológicas
Formación Jaimanitas	Carbonatado	Fisurado cársico	Local discontinuo y	Libre y Difuso	Acuífero litoral. Parcial o totalmente afectado por la intrusión marina.
Formación Vedado	Carbonatado	Fisurado cársico	Local discontinuo y	Libre y Difuso	Acuífero litoral. Parcial o totalmente afectado por la intrusión marina.
Formación Güines	Carbonatado	Fisurado cársico	Moderadamente productivo y extenso	Libre y Difuso, localmente en canales	Acuífero litoral. Constituye el horizonte acuífero que se explota



					para el abasto en Bacunayagua y Yumurí. No productivo en el área de las instalaciones de la Planta de Gas de Puerto Escondido.
Formación Cojímar	Carbonatado – Terrígeno	De estrato	Con recursos locales y limitados		
Formación Colón	Carbonatado	Fisurado Cársico	Moderadamente productivo y extenso	Difuso	Constituye el horizonte acuífero que se explota para el abasto en Bacunayagua y Yumurí. No productivo en el área de las instalaciones de la Planta de Gas de Puerto Escondido.
Formación Consuelo	Carbonatado-Terrígeno	De estrato	Sin recursos conocidos	Semiconfinado a semilibre	Acuífero de desarrollo local moderadamente productivo en el área de las instalaciones de la planta de gas. Se explota localmente en volúmenes muy reducidos para abastecimiento doméstico y riego de pequeñas parcelas de tierra y alimentación de ganado menor.
Formación Universidad	Terrígeno-Carbonatado	De estrato	Sin recursos conocidos	Semiconfinado a semilibre	Acuífero de desarrollo local moderadamente productivo en el área de las instalaciones de la planta de gas. Se explota localmente en volúmenes muy reducidos para abastecimiento doméstico y riego de pequeñas parcelas de tierra y alimentación de ganado menor.
Formación Mercedes	Terrígeno-Carbonatado	De estrato	Sin recursos conocidos		
Formación Vía Blanca	Terrígeno	Intergranular	Sin recursos conocidos	Semiconfinado a confinado	No existen referencias en la literatura ni se conocen, en las inmediaciones del territorio estudiado captaciones de agua subterránea en este horizonte.
Formación Bacunayagua	Terrígeno	De estrato	Sin recursos conocidos		
Formación	Vulcanógeno-	De estrato	Sin recursos		

Chirino	sedimentaria		conocidos		
Ultrabasitas	Serpentinitas	Fisurado no cársico	Moderadamente productivo y discontinuo		Acuífero local productivo. Se explota localmente en volúmenes muy reducidos para abastecimiento doméstico y riego de pequeñas parcelas de tierra y alimentación de ganado menor.

Fig. 1. Mapa hidrogeológico del sector nororiental del territorio.



### ACUÍFEROS FISURADOS CÁRSICOS

En las unidades estratigráficas más jóvenes (Formaciones Vedado y Jaimanitas) estos sistemas conforman acuíferos locales, de poco productivos que, tanto en profundidad como en superficie, están salinizados y, por ello, no son útiles para la explotación con fines de suministro de agua potable. Las aguas subterráneas en las unidades netamente neogénicas, como en las formaciones Güines o Colón, forman acuíferos moderadamente productivos y extensos y, en general, constituyen las fuentes más comunes de agua subterráneas dulces en la región de la Cuenca Costera Norte.

En este caso, predominan sistemas locales de flujo de muy poco espesor de agua dulce; por lo común no superiores a un metro de potencia, que se regulan interanualmente y ofrecen la posibilidad de disponer de caudales entre 0.5 y 1 litro por segundo en época de lluvias. Tal, por ejemplo, es el caso de los sistemas locales de drenaje convergente que se encuentran en la margen occidental del tercio inferior del río Bacunayagua o en los paleocauces y cauces de funcionamiento episódico de La Pluma y La Onelia.

Estas aguas yacen, en la zona costera donde se desarrollan las calizas de las formaciones Jaimanitas y Vedado, entre 1 y 7 m de profundidad, llegando a alcanzar 20 y hasta 30 m en las rocas de la formación Güines. Aguas más profundas, asociadas a las rocas de formación Colón, yacen a unos 80-90 m.

En otro caso, se ha formado un carso litoral conforme, donde las aguas de mar han desplazado tierra adentro a las aguas dulces y, por ello, la posición y extensión de la zona de mezcla agua dulce-agua salada está gobernada por la propagación de la marea oceánica tierra adentro.



Estos sistemas constituyen una vasta zona paralela a la costa y se desarrollan en los interfluvios de las corrientes fluviales que actúan como niveles de base locales que, a su vez, controlan el flujo lateral efluente o influente, según la distribución interanual de potenciales en el sistema acuífero, como ocurre en Puerto Escondido y en Canasí donde las antiguas reservas de agua dulce han sido sustituidas por aguas salobres o saladas.

En ese sistema, los recursos de aguas subterráneas dulces son prácticamente inexistentes en los primeros tres km de terreno paralelo a la costa y, casi absolutamente, puede afirmarse que siempre constituyen aguas de mezcla, no potables y, en general, no aptas para casi ningún uso. Su importancia, sin embargo, radica en que se encuentran en un precario equilibrio con las del acuífero de drenaje convergente descrito en párrafos anteriores que, localmente es utilizado con fines de consumo humano o riego. Ello ha motivado que, en estas zonas, todo el abastecimiento de agua potable se lleva a cabo con aguas superficiales desde la presa Canasí.

La secuencia carbonatada asociada a las formaciones Güines y Colón, pero sobre todo a la primera, forma el sistema acuífero más importante de la región. Se trata de un acuífero cársico, libre, litoral, somero, de limitada extensión horizontal y poco espesor de agua dulce, en contacto con el mar y drenado por las corrientes fluviales que, como los ríos, Canasí, Puerto Escondido y Bacunayagua y otros, atraviesan de Sur a Norte la secuencia carbonatada.

Este acuífero, cársico, constituye el horizonte que se explota en la actualidad con fines de abastecimiento municipal, agrícola e industrial y, en la práctica, constituye la única fuente disponible de agua subterránea potable en la región. El sistema de drenaje local es de flujo difuso, y la descarga se efectúa hacia el litoral y hacia la red fluvial activa. Por tal motivo, las divisorias subterráneas entre los sistemas locales de flujo parecen muy ligeras y, en todo caso, estacionales, produciéndose, sobre todo en aguas altas, cambios en la dirección y velocidad del flujo subterráneo.

Esto significa que cualquier alteración en el balance hídrico del sistema acuífero, ya sea por incremento en las tasas de extracción, sequías prolongadas, bombeos o extracciones no regulados, tanto puntuales como en grupo, obras de recarga inducida, drenajes y similares, pueden provocar el avance tierra adentro de las aguas marinas, con las que el acuífero está en frágil equilibrio hidrodinámico induciendo cambios en la posición de la interfaz agua dulce/agua salada y cambios en la posición de la intrusión marina. La penetración de marea tierra adentro, vía el acuífero, casi 5 km, provoca que cuando la relación de efluencia e influencia entre la red fluvial y el acuífero cambia, varía también la penetración de agua marina hacia el interior del país.

Un sistema local de flujo extenso y moderadamente productivo se desarrolla en las rocas carbonatadas de la formación Colón, parcialmente confinado o semiconfinado por los depósitos menos permeables de la formación Cojímar, que la suprayace concordantemente. Esta barrera hidráulica habría preservado esos recursos subterráneos de la intrusión marina y de otros focos de contaminación asociados a la ganadería, agricultura, turismo y la exploración y explotación de petróleo y permite que, en la actualidad, constituyan los recursos mejor conservados en el área de estudio. Estas aguas yacen en profundidad, y se captan a más de 80 m de profundidad en la cuenca del río Bacunayagua y en La Onelia. Es probable que a este sistema de flujo, discontinuo, estén asociadas las descargas de agua dulce en Bufadero y las antiguas fuentes de suministro de agua para ganado en Bacunayagua, La Onelia y en Pura y Limpia.



Hidrodinámicamente, todos los acuíferos cársicos constituyen merokarsts, cuyo nivel activo es el que se encuentra, aproximadamente, a la cota cero, asociado con un nivel de cavernamiento desarrollado a la misma altura. Los niveles de cavernamiento inferiores están salinizados permanentemente, de manera que las aguas subterráneas dulces flotan sobre las aguas salinas. Los niveles superiores han sido desaguados o funcionan sólo temporalmente, por razón de que la posición de los antiguos niveles de descarga de las aguas subterráneas ocuparon posiciones muy elevadas respecto al nivel del mar o por descarga lateral a corrientes epigeas actualmente fósiles o de funcionamiento episódico, como ocurre, típicamente, en la zona de Bufadero o en la Base de Campismo de Puerto Escondido..

En sentido general, la parte más salinizada del acuífero corresponde con el desarrollo de los horizontes cuaternarios. Pero en todas las rocas del complejo formacional Neógeno–Cuaternario el intercambio entre las aguas subterráneas no tiene barreras y, de hecho, constituyen una sola unidad hidrogeológica. Ello conduce a que no solamente la intrusión marina, sino cualquier otra carga contaminante se transmita libremente a todo el sistema acuífero, exceptuando, quizás aquellas partes del acuífero donde los depósitos carbonatado–terrágenos de formación Cojímar confinan o semiconfinan los depósitos carbonatados de formación Colón.

La dirección de las aguas subterráneas en el acuífero carbonatado, en general, es de Sur a Norte y perpendicular a las corrientes fluviales que las drenan, con gradientes muy bajos, del orden de  $10^{-4}$ , producidos por el bajo potencial de carga hidrostática de las aguas dulces.

El campo de propiedades físicas del acuífero muestra una estructura anisotrópica pero heterogénea. Los valores de porosidad primaria son altos en las rocas carbonatadas cuaternarias, casi del 40 %. En las rocas miocénicas y oligocénicas, sin embargo, la porosidad primaria es más baja, del orden del 10 %, exceptuando las de las Fms. Güines y Colón, que llega a ser del 30 % y, localmente, más alta. Por razón del desarrollo de la carsificación y el cavernamiento, evidentemente, la porosidad secundaria es más alta.

En resumen, se encuentran dos sistemas regionales de flujo, uno paralelo a la costa, intrusionado, con descarga al mar y otro de limitada extensión, bordeado por éste, de alimentación local.

En una amplia zona al Este de Canasí el acuífero que se extiende desde la costa hasta la primera terraza marina, exhibe una marcada alternancia entre zonas transmisivas y capacitivas, donde las segundas se presentan fuertemente intrusionadas por las aguas marinas que penetran tierra adentro perpendiculares a la línea costera, aprovechando los bajos gradientes hidráulicos; las elevadas porosidades y transmisividades de las rocas cavernosas; el amplio desarrollo de las formas cársicas superficiales que favorecen la infiltración de aerosoles fuertemente salinizados, y la poca profundidad a la que se encuentran las aguas, de manera que no se descuenta el efecto de la evaporación en el incremento de la salinidad en el sistema acuífero. En los procesos de propagación de la intrusión marina y, por ende, en el control de la extensión de la zona de mezcla agua dulce-agua salada influyen, sobre todo, aquellos mecanismos de dispersión-difusión regidos por el efecto de las mareas oceánicas. Ello condiciona una alternancia de penetración-descarga perpendicular a la costa de muy rápida respuesta, por un lado y, por otro, el desarrollo de un mecanismo de flujo lateral en dirección a las márgenes de los ríos, que constituyen el nivel de base de erosión más próximo y, por ende, el escalón de descarga de las aguas subterráneas que sigue, inmediatamente, en orden de importancia, al control del drenaje subterráneo.



Tales movimientos, en las condiciones actuales en las que el acuífero intrusionado litoral no se explota, mantienen el equilibrio en la propagación normal y lateral de la zona de mezcla y confina, en límites admisibles, la propagación de esta agua de baja calidad, impidiendo que se mezclen, completamente, con las del sistema local de flujo.

### **ACUÍFEROS FISURADOS NO CÁRSICOS**

En Palmarejo, se encuentran unas serpentinitas que forman un acuífero de limitada extensión y moderada productividad, que se explota, esencialmente para abastecimiento doméstico.

Las serpentinitas no forman cortezas de intemperismo y las aguas yacen en las grietas, formando un acuífero libre (no confinado), donde las aguas yacen a una profundidad de unos ocho metros.

El acuífero es discontinuo, desarrollado selectivamente en grietas. La alimentación, movimiento y descarga de ambas unidades, están condicionadas por la distribución y relaciones entre los sistemas de grietas. En no pocas ocasiones, las grietas están selladas total o parcialmente por depósitos de mineralizaciones secundarias.

Las aguas subterráneas en las serpentinitas alimentan, parcialmente el arroyo Palmarejo. En general tienen una zona de recarga natural localizada y el tiempo de renovación de las aguas debe ser muy lento, ya que presentan una elevada mineralización, indicativa, además, de bajos gradientes hidráulicos y bajas velocidades de circulación.

En general, los valores más elevados de conductividad hidráulica se asocian a los sistemas 160-75-75°, 140-80-50°, 110-80-200°, 60-75-160° y 340-70-50°, donde las cifras indican dirección de la grieta, ángulo de buzamiento y rumbo del buzamiento de la grieta.

Es fácil constatar, que el predominio de ángulos verticales de caída en familias no asociadas entre sí, inhibe la formación de una superficie piezométrica virtual o realmente continua y, por ende, de acuíferos importantes en las grietas de las tectonitas. Ello condiciona, asimismo, la rápida descarga de tales sistemas acuíferos.

En las metamorfitas predominan las diaclasas de tensión, con diaclasación  $ac^1$ , debidas a deformación plástica y fracturas de tensión (fracturación  $ac^2$ ) debidas a deformación quebradiza. En menor grado se encuentran fracturas de deslizamientos ( $hk0$  y  $hk1$ ) asociadas a deformación quebradiza. Las diaclasas de tensión, muestran una baja capacidad de almacenamiento, dada por la escasa interconexión entre las diferentes fracturas, sin embargo, localmente pueden encontrarse valores relativamente altos de conductividad hidráulica. Las fracturas de tensión, tienen una mayor capacidad de almacenamiento debido a su origen tensional. Se encuentran en el valle de Puerto Escondido. En el caso de las fracturas de corrimiento, como las que se observan al pie del corte de Palmarejo, la capacidad de almacenamiento es compleja y variable. Ello se debe a que la mayor parte de las fracturas de corrimiento se encuentran estrechamente comprimidas debido a las presiones residuales. Aquí, los corrimientos de suave inclinación desempeñan un importante papel, respecto a la capacidad acuífera, ya que, generalmente, exhiben una gran capacidad de almacenamiento. Ésta, en no poca medida, también está asociada a la permeabilidad relativamente más elevada de los sedimentos de relleno de las grietas.

### **ACUÍFEROS DE ESTRATO**

Las rocas de las formaciones Cojímar, Consuelo, Universidad, Mercedes, Vía Blanca Bacunayagua y Chirino forman acuíferos de estrato. Por su composición litológica son rocas de muy baja porosidad y permeabilidad, de manera que no tienen prácticamente, capacidad alguna



de acuosidad. Excepto las rocas de la primera de ellas, que localmente pueden dar caudales importantes –como en el Pozo Ojo de Agua, donde yacen a muy poca profundidad, las restantes no tienen recursos conocidos y no se identificó que, en el territorio estudiado, se utilicen en modo alguno.

### INTERACCIÓN ACUÍFERO-OCÉANO

En definitiva, queda claro que los factores que condicionan cambios en el gradiente hidráulico en el sistema de conductores provocarán tres casos de interacción agua dulce-agua salada (Van der Tuin, 1991; Molerio, 1994):

- las aguas dulces descargan sin apenas mezcla, como es el caso de las márgenes oriental y occidental del tercio inferior de los ríos Cojímar, Bacuranao, Tarará y Canasí;
- las aguas dulces se mezclan en la zona de descarga o antes de ella, en el interior del sistema, como ocurre al este de Bacunayagua;
- las aguas saladas penetran sostenidamente hacia el interior, como ocurre en la zona de Puerto Escondido.

Dependiendo del valor del gradiente hidráulico la zona de contacto entre las aguas dulces y saladas variará su posición. Si el campo de presiones y de carga hidráulica es importante, la zona de contacto se desplazará en dirección al mar; si no, ocurrirá el movimiento inverso. En tanto la relación beneficie las aguas dulces o se encuentren en equilibrio con las del mar, el acuífero descargará agua dulce, es decir,  $(r, -, Y)H, \leq H$ . El agua salobre se desplazará en esa dirección, cuando  $(;v, - r)H, > H7$ .

Resulta importante, en este punto, destacar que la clásica ley de Ghyben-Herzberg sólo se cumple limitadamente en los acuíferos cársicos. Se acerca en aquellos casos que se trate de acuíferos de flujo difuso con anisotropía homogénea y es definitivamente inaplicable en aquellos de flujo concentrado y anisotropía no homogénea o notablemente heterogéneos. La mezcla entre aguas dulces y saladas responde a mecanismos de tipo electroquímico y termodinámico y en los que no es válido el principio de que la descarga es inversamente proporcional a la concentración de sales.

Atendiendo al comportamiento de la salinidad las descargas costeras se han subdividido en dos grupos:

- aquellas con salinidad variable, en que la relación entre las concentraciones máximas ( $C_{\text{máx}}$ ) y mínimas ( $C_{\text{mín}}$ ) cumple la relación  $C_{\text{máx}} / C_{\text{mín}} \leq 2$
- los que presentan una salinidad aproximadamente constante, en el intervalo  $1 \leq C_{\text{máx}} / C_{\text{mín}} < 2$

Con independencia a los tipos de descarga, la zona de contacto siempre incluye una zona de mezcla entre las aguas del acuífero y las del mar que se reconoce perfectamente en las calas perforadas. En esta zona, se intercambian fluidos con diferente composición y propiedades físicas, químicas y biológicas.

El límite externo viene definido por la propagación extrema de la cuña marina con la franja de máximo gradiente de salinidad. Este límite exterior se expresa con salinidades del orden del 90-95 % de la salinidad media del mar. El límite interior es variable y depende del volumen y forma de la descarga (difusa o concentrada) de las mareas y del oleaje. Se asume que este límite superior está alrededor del 1 % de la salinidad del mar, pero esta cifra, así como el

indicador que se tome (SST, Cl, Na) según las necesidades de explotación, puede variar en virtud del tipo de aprovechamiento de las aguas subterráneas.

De acuerdo con el grado de interacción dinámica y el tipo de mezcla se reconocen tres zonas (Van der Tuin, 1991; Turner y Adger, 1996; Gordon et al., 1995):

1. La zona donde ocurren variaciones del nivel del agua debido a las mareas y al oleaje, en cuyo caso, mientras menor es la descarga ( $Q_r$ ) y el gradiente hidráulico ( $I$ ) y mayor el rango de fluctuación de mareas y el oleaje ( $A H_s$ ) mayor será la distancia que recorren éstos hacia el interior del país ( $LA H$ ). Este es el caso del acuífero en la zona de Bacuranao, Guanabo, Tarará y Puerto Escondido
2. Una zona donde ocurren corrientes inversas (verticales y, a veces longitudinales) relacionadas también con las mareas. La relación entre la longitud de esta zona ( $L_v=0$ ) y los factores  $Q_r$ ,  $I$  y  $A H_s$  es, cualitativamente, la misma que para la pleamar (HWS). El valor  $L_v=0$  es el mayor al momento de la máxima pleamar (HWS) con la menor descarga del acuífero. Esta zona se reconoce, típicamente, en Canasí y en el límite occidental de las instalaciones de Puerto Escondido.
3. La zona de agua salobre donde mientras mayor sea la salinidad del agua de mar ( $S_s$ ) la profundidad del canal de descarga ( $h$ ) y el rango de fluctuación de marea y oleaje, y menor la descarga ( $Q_r$ ), mayor será la penetración tierra adentro de las aguas salobres. Aquí se distinguen dos subzonas:  $a_1$ , aquella donde siempre está presente el agua salobre y  $b_1$ , aquella que ocurre durante la marea alta o el oleaje. Este fenómeno se manifiesta, típicamente, en la zona de Bufadero.

Esto hace que, bajo cualquier condición, se cumpla que,

$$LAH > L_v = 0 > L_s$$

El tipo de mezcla depende de factores que son función del espacio y el tiempo, y debe variar en el territorio, también espacial y temporalmente. Para definir cuantitativamente esta relación puede emplearse el parámetro de estratificación  $n$ , definido como:

$$n = \frac{AS}{S_m}$$

donde,  $AS = S_{bot} - S_{surf}$ , siendo  $S_m = 0,5(S_{bot} - S_{surf})$ , donde  $S_{bot}$ , la salinidad en el fondo y  $S_{surf}$ , la salinidad en la superficie del agua. Por lo común, se considera que hay buena mezcla cuando  $n < 0.1$ , mezcla parcial cuando  $0.1 < n < 1.0$  y cuña de intrusión si  $n > 1.0$ . Este último es el caso reconocido en la mayor parte del territorio ocupado por las instalaciones de tierra de Sherritt Oil.

La mezcla y la estratificación también se manifiestan de manera diferente según las formas cársticas afectadas por la intrusión marina. Los sistemas locales de flujo como el que se estudia, que tienen un área de alimentación y drenaje más pequeños se afectan mucho más rápidamente por la intrusión. Aquí suele alcanzarse una mezcla total y la estratificación es muy débil y a veces, ni siquiera se manifiesta.



## BIBLIOGRAFIA

- Antigüedad, I.; M. Arellano; M. L. Calvache; M. V. Esteller; J. R. Fagundo; M. A. Gómez; A. González; A. González; J. Gutiérrez; H. Llanusa; M. López; L. F. Molerio; T. Morales; I. Morell; I. Mugerza & A. Pulido (1997): **Curso Avanzado sobre Contaminación de Aguas Subterráneas. Monitoreo, Evaluación, Recuperación**. 2 vols., Castellón, 324 p.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1985): **NC-93-02-1985. Agua potable. Requisitos sanitarios y de muestreo**.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1986): **NC-93-01-1986. Fuentes de abastecimiento de agua, calidad y protección sanitaria**.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1987): **NC-93-01-103. Clasificación de la utilización de las aguas interiores**.
- Cuba. Oficina Nacional de Normalización (1999): **NC-XX-1999. Norma Cubana Obligatoria Experimental. Vertimiento de residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones**.
- CUPET (1995): **Regulación RA 02/95. Regulaciones Técnico-ambientales para el tratamiento y disposición del agua producida**.
- EPEP CENTRO (2000): **Informe técnico sobre la investigación de aguas subyacentes a las instalaciones de la Batería Central de la EPEP-Centro**, 9 p.
- FAO (1979): **Groundwater Pollution. Technology, Economics and Management**. FAO Irrig. Drain. Paper 38, Roma, 137 p.
- Henry HR (1964): **Interfaces between salt water and freshwater in coastal aquifers**. In: **Seawater in coastal aquifers**. US Geol. Surv Water-Supply Paper 1613C:C35-C70
- Izuka SK y SB Gingerich (1998): **Estimation of the depth to the freshwater/saltwater interface from vertical head gradients in wells in coastal and island aquifers**. Hydrogeology J 6:367-373
- Luszczynski, NJ (1961): **Head and Flow of Groundwater of Variable Density**. J Geophys Res 66:4247-4256
- McNeely, R. N., V. P. Neimanis, L. Dwyer (1979):** Water Quality Sourcebook. A Guide to Water Quality Parameters. **Inland Water Dir. , Ottawa, 88 p.**
- Molerio León, Leslie F. (1992): **Mareas Terrestres y Oceánicas en Acuíferos Cársicos Costeros**. II Cong. Espel. Latinoamérica y el Caribe, Viñales, Pinar del Río, Cuba, :17
- Molerio León, Leslie F. (1994): **Intrusión marina en Acuíferos Cársicos**. Unesco, Universidad Nacional de La Plata, 366:
- Molerio León, L.F. (2000): **Design of Seawater Intrusion Early Warning Systems in Coastal Karstic Aquifers: A Multivariate Approach**. Unesco Project. 3.2.
- Molerio León, L. F. y J. Gutiérrez Díaz (2000): **Agricultural impacts in Cuban karstic aquifers**. In/D. Drew y H. Hötzl: **Karst Hydrogeology and Human Activities. Impacts, Consequences and Implications**. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield:76-78.
- Reilly TE y AS Goodman (1985): **Quantitative Analysis of Saltwater-Freshwater Relationships in Groundwater Systems – A historical Perspective**. J Hydrol 80:125-160
- Stewart, J. N. (1977): **Hydrologic effects of pumping a deep limestone sink near Tampa, Florida, USA** In J.N. Tolson & F.L. Doyle: **Karst Hydrogeology**, Univ. Ala.







## **ABASTO EMERGENTE A LA CIUDAD DE HOLGUÍN DESDE EL CAUTO. UNA POLEMICA PERO NECESARIA SOLUCION.**

**Msc Hugo Ivonnet Borrero (1), Ing. Hirmerio Fortes Hernández (2).**

(1) Calle 16 #20 A / 1ra y 3ra. Rpto Emilio Bárcenas, Holguín. 46 2676 (Fax), Telef. 46 5916, e-mail: [raudal@hidro.cu](mailto:raudal@hidro.cu).

(2) Rastro #135 Altos / Angel Guerra y San Pablo. Holguín. 46 5919. e-mail: [raudalh@hidro.cu](mailto:raudalh@hidro.cu)

### **RESUMEN**

En el trabajo se abordan los antecedentes a este proyecto, originados por la intensa sequía que azota a la provincia desde hace varios años, las medidas que se han ido tomando en la provincia para enfrentar la misma y la situación actual de desabastecimiento de agua, así como los desfavorables pronósticos de solución por vía natural en un futuro inmediato.

Asimismo se explican las diferentes variantes analizadas para abastecer de manera emergente a la Ciudad de Holguín hasta llegar a la solución actual de traer el agua desde el Río Cauto.

Se ofrecen los principales datos técnicos de la Conductora y demás obras que se ejecutan de manera acelerada por el INRH para paliar los efectos de la sequía y abastecer a la población de manera emergente.

También se hacen las consideraciones de los Autores desde el punto de vista ambiental sobre qué debe hacerse para garantizar la sostenibilidad del proyecto a mediano y largo plazo.

### **INTRODUCCIÓN**

En estos momentos se construye aceleradamente una conductora de 52,8 Km de longitud, que debe traer desde el Río Cauto hacia la Ciudad de Holguín, a razón de 500 l/s, el agua que tanto necesitan sus pobladores, sumidos desde hace mucho tiempo en una situación crítica debido a una intensa sequía que ha agotado a sus 3 principales fuentes de abasto. La construcción es acometida de manera ininterrumpida durante las 24 horas por la Empresa Constructora del INRH, a partir del diseño concebido por la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín (RAUDAL), con el propósito de concluirla el 30 de Agosto de 2004.

Esta solución emergente ha sido cuestionada por algunos y apoyada por otros. El Gobierno Provincial de Holguín decretó desde el 29 de Julio de 2003 la Fase de Alerta por intensa sequía. El Gobierno Revolucionario ha aprobado la construcción del Abasto Emergente a Holguín desde el Cauto y proporcionado los recursos necesarios en una verdadera carrera contra reloj, pues ya los embalses Guirabo y Cacoyuguín se secaron y a Gibara sólo le quedan reservas para dos meses y eso con entrega limitada.

Los autores pretenden con este trabajo dar algunos elementos y datos adicionales que permitan hacerse una mejor idea de lo compleja que está la situación en Holguín, de las



variantes evaluadas, el por qué se escogió esta y sobre los riesgos ambientales que entraña la misma.

## **MATERIALES Y METODOS.**

El trabajo se hace a partir del estudio de materiales existentes en los archivos de RAUDAL y de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Holguín, así como de la tarea técnica entregada por la Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos de Holguín. Se consultó la Solicitud de Licencia Ambiental del Trasvase Cauto Guirabo. También se entrevistó al Director de Inversiones Hidráulicas de la Provincia Ing Leonides Sánchez, así como a miembros del equipo de diseño de la obra, el cuál fue dirigido por uno de los autores.

También se hicieron recorridos de campo a lo largo de todo el trazado de la Conductora y se intercambiaron criterios con los miembros del equipo que efectuó el Estudio de Afectaciones que origina esta construcción y se participó en las reuniones técnicas realizadas para evaluar las variantes elaboradas y tomar decisiones acerca del Proyecto.

## **DISCUSIÓN.**

### **Antecedentes climáticos.**

En los últimos 21 años (de 1982 al 2003) sólo en 3 años las lluvias han sobrepasado la media histórica anual de la provincia (en 1987, 1999 y 2001) y los 3 años más secos fueron 1989 con el 66 %, 1997 con el 67 % y el año 2002 con un 73 %. (Ver Tabla I). En los últimos 5 años sólo en 2 ocasiones se ha sobrepasado la media histórica de lluvias para los meses de Mayo y Junio (en el 2001 y 1999 respectivamente). Ver Diagrama de Barras No 1.

Las lluvias caídas en el área de la Cuenca de Guirabo en los últimos 5 años han estado siempre por debajo de la media histórica. En el caso de la Cuenca de Cacoyuguín sólo en el año 1999 han estado por encima de su media histórica. En cuanto a la Cuenca de Gibara en los años 2000 y 2002 se comportaron por debajo de la media histórica. Ver Diagramas de Barras No 2, No 3 y No 4. Es decir, que el comportamiento del clima ha sido sumamente adverso en el territorio holguinero, acumulándose un déficit en las fuentes de abasto al continuar la extracción para satisfacer aunque sea parcialmente las necesidades de la población.

### **Sistema de abastecimiento de agua a la ciudad de Holguín.**

El sistema de abastecimiento de agua a la ciudad de Holguín cuenta con tres presas:

- Cacoyuguín: con una capacidad de almacenamiento de 5,6 Hm<sup>3</sup> y una entrega neta garantizada para el 95% de probabilidad de 5,8 Hm<sup>3</sup> anual.
- Güirabo: con un volumen total de 15,2 Hm<sup>3</sup> y una entrega garantizada de 10,2 Hm<sup>3</sup> anual para el 95% de probabilidad.
- Gibara: con un volumen total de 65,5 Hm<sup>3</sup> y una entrega neta de 14,0 Hm<sup>3</sup> anual.

Estas aguas son tratadas en tres plantas potabilizadoras vinculadas a cada una de las fuentes.

De una población total de 277 500 habitantes con que cuenta la Ciudad de Holguín, se benefician actualmente por la red de distribución 176 000 habitantes, de ellos 73 233 habitantes se benefician desde la Presa Cacoyuguín, 31 561 habitantes desde la Presa Güirabo y 71 206 habitantes desde la Presa Gibara con un ciclo de distribución por zonas y entregas en la mayoría de las zonas a razón de 12 horas y ciclos de 5 a 7 días como promedio. Las entregas de agua hacia la ciudad de Holguín se han ido incrementando a partir de los últimos 10 años, y desde el año 1994 se han entregado entre 29,0 y 39,5 millones de m<sup>3</sup>/año, es decir, ha habido una sobre-explotación, a pesar de lo cuál la



población no recibe lo que requiere debido al pésimo estado de las redes de distribución construidas durante el pasado siglo, en los años 50, con un crecimiento desordenado y presencia de numerosas tendederas e incontables salideros.

Ante la clara tendencia hacia el desabastecimiento proveniente de las fuentes tradicionales de agua hacia la ciudad, el INRH hace algunos años que viene estudiando diversas alternativas para resolver el agua que necesita la Ciudad de Holguín.

### **Estudios realizados anteriormente:**

- Es de todos conocido que en los años 90 fue necesario paralizar la construcción del Trasvase Este-Oeste debido al Período Especial y no se ha podido reiniciar la misma por los cuantiosos recursos materiales y financieros que requiere este proyecto, destinado a traer el agua sobrante de la parte Este de la Provincia de Holguín hacia el Oeste de esta provincia y a una parte de la provincia de Las Tunas, donde escasea históricamente el preciado líquido. Hay que decir que en la parte Este se concentra el 75 % del agua contra el 25 % de los consumidores y en el Oeste es a la inversa. Esta sigue considerándose como la verdadera solución a largo plazo pero no es viable en la actualidad.
- Trasvase Colorado – Gibara para un gasto de 300 l/s, se encuentra con Proyecto de Ingeniería de Detalle.
- Trasvase Presa Santa Clara – Cacoyuguín para un gasto de 200 l/s, se encuentra con Proyecto de Ingeniería de Detalle.
- Recrecimiento del Aliviadero de la Presa Cacoyuguín, se encuentra con Proyecto de Ingeniería de Detalle.
- Construcción de la Presa Cacoyuguín II, se encuentra en Estudio de Factibilidad.
- Construcción de la Presa Yabazón para una entrega garantizada de 15,0 Hm<sup>3</sup>, se encuentra con Proyecto de Ingeniería de Detalle.

Los dos primeros embalses fueron proyectados para riegos de cultivos agrícolas y la presa Yabazón para el abasto a la ciudad.

Con el cambio climático presente en los últimos años, todas estas variantes elaboradas considerando las fuentes desde la parte Norte de la Provincia de Holguín se vuelven inseguras, pues son susceptibles de agotarse cuando comiencen a explotarse acorde a las necesidades de la Ciudad de Holguín.

Es por eso que en la situación actual la vista se volvió hacia el este (Variante proviniendo del canal Nipe-Deleite y hacia el Sureste variantes provenientes del Río Cauto), soluciones que son más seguras en cuanto a la garantía de la fuente aunque más costosas debido a la distancia a que se encuentran. Se analizaron 4 variantes principales, con 8 subvariantes. De las cuatro variantes mencionadas se escogió la Variante I pues aunque inicialmente es más cara que la II y la III con el tiempo se compensa pues consume menos electricidad y garantiza una mejor calidad del agua que las que parten por canales abiertos, además de que en estas hay que bombear un caudal mayor para compensar las pérdidas en el trayecto.

La variante IV a pesar de que es menor en cuanto a la conductora, sólo puede entregar 200 l/s, es más compleja desde el punto de vista constructivo debido a su difícil topografía y compleja geología, además requeriría de la construcción de una línea eléctrica de 8,0 Km con la complejidad que esto aporta cuando se trata de una inversión de urgencia como en este caso.



## Descripción de la Variante I.

### Primera Parte: Veinte Rosas-Cacocum-Guirabo.

Esta variante utiliza la estación de bombeo Veinte Rosas perteneciente al MINAZ y actualmente electrificada. De 13 equipos de bombeo con capacidad total de 6,5 m/s, solamente están trabajando 2 equipos, por déficit de electricidad y roturas. El trazado de la conductora va paralelo al del Canal de riego P-2-1 hasta el km 9 + 750, continuando su trazado por el camino existente hasta Cacocum y desde este pueblo por un camino paralelo al río Matamoros hasta la Presa Güirabo.

La longitud de esta variante es de 36,7 km y es la mejor variante desde el punto de vista de operación y calidad del agua. Se aprovechan los equipos de bombeo existentes en el país para el rebombeo.

Las tuberías son de Poliestireno de Alta Densidad (PEAD) cuyo diámetro es:

φ 800 mm ( PN6) : 8,2 km

φ 800 mm ( PN4) : 28,5 km

TOTAL : 36,7 km

Los equipos de bombeo son tres electrobombas de 250 L/s y H = 70,0 m de carga ( Veinte Rosas) y cuatro electrobombas de 180 L/s y H = 55,0 m de carga (Rebombeo Cacocum). En cada estación de bombeo un equipo es de reserva.

La segunda parte de la obra consiste en la interconexión: Presas Guirabo - Planta Potabilizadora Pedernales – Rebombeo Circunvalación - Planta Potabilizadora Gibara.

La longitud de dicha conductora es 16,1 km. Como se planteó anteriormente la presa Gibara ha tenido en los últimos años niveles bajos producto de la sequía por lo que debe suplirse este déficit existente que es de 200 l/s y permitir de esta forma la recuperación de dicha presa, que se ha sometido por varios años a una extracción superior, por lo que los niveles de agua de la misma han ido bajando.

El trazado hasta la planta potabilizadora Pedernales es paralelo a la conductora existente (dos), una de HoFo y la otra de centro acero, estando esta última en malas condiciones. El trazado entre las dos plantas potabilizadoras es pasando por entre las fábricas de Combinadas y la 26 de Julio hasta la circunvalación y paralela a la misma hasta la Potabilizadora Gibara. El caudal de ésta es de 600 L/s desde la Presa Güirabo hasta Pedernales y de entre 200 – 300 L/s desde Pedernales hasta la potabilizadora Gibara. Se utiliza la estación de bombeo Güirabo con nuevos equipos de bombeo, aplicando un rebombeo en la conductora entre las dos plantas en la intersección de la circunvalación y carretera al Mirador de Mayabe. Las tuberías son de PEAD cuyo diámetro es:

φ 630 mm (PN10): 0,5 km

φ 630 mm (PN8): 2,2 km

φ 630 mm (PN6): 7,0 km

φ 630 mm (PN4): 6,4 km

TOTAL : 16,1 km

Los equipos de bombeo son:

- Cuatro electrobombas de 200 L/s y H = 75,0 m de carga (estación de bombeo Güirabo).
- Tres electrobombas de 150 L/s y H = 85,0 m de carga (estación de Rebombeo Circunvalación).

En cada estación de bombeo un equipo es de reserva.



El costo de esta variante es de alrededor de 11 898,0 MP de ellos 4 975,3 MUSD los que fueron autorizados de inmediato por el Presidente Fidel Castro para hacer frente a esta contingencia.

### ¿Por qué polémica solución?

Hay muchos compañeros que se muestran preocupados por los impactos ambientales que este proyecto pudiera causar y también otros preguntan si no habría otra solución mejor desde el punto de vista hidráulico.

Por eso se ha expuesto aquí en primer lugar la situación real de la ciudad, que se agrava cada día pues en estos momentos ya los embalses Cacoyuguín y Guirabo salieron de servicio y a Gibara le queda agua para 2 meses (con extracción restringida). Se agotaron más de 4000 pozos, la afectación a los pobladores alcanza ya a más de 104 mil habitantes, los ciclos de distribución de agua mediante el empleo de más de 100 pipas están entre 10-15 días y la entrega por la red entre 7-8 días. Se incrementan las pérdidas en la Agricultura y el MINAZ. Es posible imaginarse la catástrofe que sobrevendría en septiembre-octubre y la desesperación de la población si no se hubiera adoptado la decisión de construir este abasto emergente.

Después se explican las características del proyecto para que se conozca que el mismo es factible y los parámetros técnicos de sus distintos componentes. Además el sistema de abasto de la ciudad se beneficiará integralmente pues se están cogiendo salideros, se interconectaron los 3 sistemas existentes para que se pueda balancear el agua independientemente de la fuente por donde llegue, y se están reparando las 3 Plantas Potabilizadoras. No es objeto de este trabajo el Proyecto de Rehabilitación del Acueducto de Holguín el que también se está diseñando para dotar a la ciudad de un moderno sistema de almacenamiento y distribución que satisfaga verdaderamente las necesidades de su población.

Ahora corresponde hablar un poco acerca de los aspectos ambientales que se relacionan con este proyecto.

Paralelamente a los trabajos topográficos y de investigaciones aplicadas que se hicieron en la franja por donde transita la conductora, se hizo por parte de RAUDAL, el Estudio de Afectaciones contratado por el Inversionista (la DPRH de Holguín), ascendiendo las mismas a \$72 133,02. A partir del estudio se propusieron ligeros cambios en el trazado con el fin de mitigar las afectaciones. Se hizo también la Solicitud de Licencia Ambiental que requiere una obra de esta envergadura. Sin embargo, algunas personas han expresado las siguientes interrogantes:

- ¿Qué repercusión tendrá en los Ecosistemas de la Cuenca del Río Cauto la extracción de 500 l/s a un caudal ya disminuido por varias presas situadas aguas arriba de Veinte Rosas?
- De igual forma ¿qué impactos producirá en los ecosistemas de la Cuenca de Guirabo la inyección de 500 l/s de un agua con un contenido de cloruros mayor de los 250 mg/l permisibles y que se incrementa considerablemente en períodos secos del año?
- Otra cuestión a resolver es que se precisa que los residuales del Central Urbanos Noris sean tratados y una vez terminado dicho proceso sean conducidos hacia el Colector Salado y no a la Rectificación del Río Camazán que descarga al Cauto a poca distancia y aguas arriba de la Estación de Bombeo Veinte Rosas.



## RESULTADOS

Uno de los objetivos de este trabajo es dar respuesta a estas interrogantes: Se escoge precisamente el abasto desde el Cauto pues se cuenta con una reserva de agua embalsada (en la Presa Carlos Manuel de Céspedes  $160 \text{ Hm}^3$ , con entrega garantizada de al menos  $120 \text{ Hm}^3$  y en la Presa Protesta de Baraguá  $250 \text{ Hm}^3$ , con entrega garantizada de unos  $200 \text{ Hm}^3$ ) que permite establecer que en el balance de agua del INRH, Santiago de Cuba debe entregar a Holguín entre 150 y 200 millones de  $\text{m}^3$  anuales, los cuáles se administran según sean las necesidades para la población, la agricultura y otros usos. En estos momentos no se emplea tal cantidad. Se conoce que años atrás se extraían del Cauto más de 500 l/s destinados al riego de la caña y que actualmente ya no se están explotando debido a las roturas de las bombas del MINAZ y a la baja en la producción cañera. También está previsto que para generar electricidad en la PCHE Baraguá será necesario liberar un caudal mayor aún ( $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) de la Presa Protesta de Baraguá situada aguas arriba de Veinte Rosas, por lo que se compensaría con creces la extracción de agua ( $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) con destino a Holguín. O sea, que habrá un excedente de agua que beneficiará la Cuenca del Cauto aguas abajo de Veinte Rosas y contribuirá a disminuir la salinización existente en la actualidad. Habrá que monitorear sistemáticamente la calidad del agua en la obra de toma situada en Veinte Rosas para tomar medidas rápidamente en caso de que su composición no sea la adecuada y no afectar a la Cuenca de Guirabo.

Finalmente hay que decir que esta Conductora Cauto- Guirabo también puede contribuir a paliar los déficits considerables de agua que actualmente presentan los poblados de Cacocum, Cristino Naranjo y Maceo.

Actualmente también se estudia por RAUDAL una variante de conductora que enlace la Presa Guirabo con la Presa Cacoyuguín para lograr la recuperación de este embalse que abastece a más de 70 000 habitantes de la Ciudad de Holguín.

Si el régimen de lluvias se normalizara puede reducirse el bombeo desde el Cauto e incluso suspenderse de no ser necesario; pero indiscutiblemente que siempre será un factor de seguridad para la Ciudad de Holguín contar con esta alternativa de emergencia para casos de intensa sequía, proveniente de la fuente más segura de todas: el Río Cauto, cuya cuenca es la más extensa de Cuba.

## CONCLUSIONES

- 1.- El Abasto a la Ciudad de Holguín desde el Cauto es una medida absolutamente necesaria debido al estado de emergencia provocado por la intensa sequía que azota a la Provincia desde hace varios años y que la ha colocado al borde de un inminente desastre.
- 2.- Los impactos ambientales derivados del proyecto tendrán un carácter positivo tanto para el Medio Ambiente Socio-económico como para el Medio Ambiente Natural en ambas provincias.

## RECOMENDACIONES

- 1.- Establecer de inmediato un amplio monitoreo de los diferentes factores ambientales aguas abajo de la Estación de Bombeo de Veinte Rosas en la Cuenca del Cauto y también en la Cuenca de Guirabo, para conocer los efectos que produce sobre ambas el trasvase de agua cuando se ponga en marcha este Proyecto y poder actuar sobre sinergias no previstas hasta ahora.
- 2.- Continuar intercambiando criterios e información, en un futuro, para enriquecer el debate público acerca de este tema.





## BIBLIOGRAFÍA

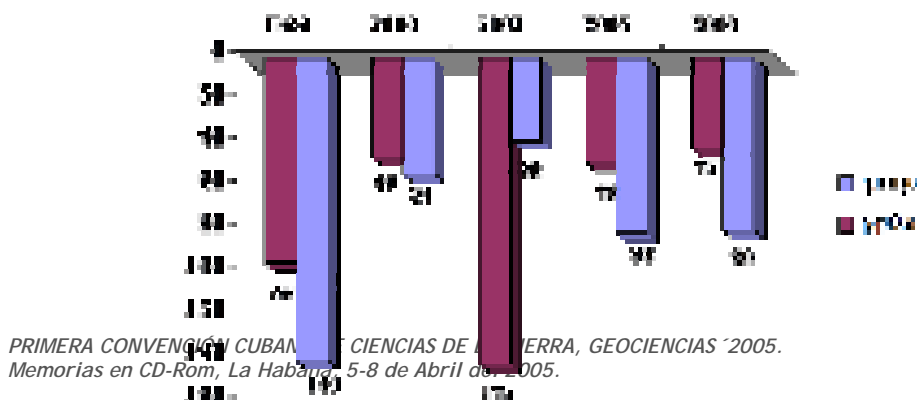
- DPRH Holguín. (2004). *Informe sobre la sequía en la Provincia Holguín*. Ejercicio METEORO 04.
- Fortes, H. (2004). *Informe Preliminar Abasto Cauto-Guirabo*. Holguín, RAUDAL, p. 1- 4.
- Sánchez, Leonides. Entrevista concedida a los autores.
- Sánchez, Leonides. Solicitud de Licencia Ambiental "Abasto Emergente a la Ciudad de Holguín desde el Cauto".
- UEBPI Holguín. (2004). PIBD Abasto Emergente a la Ciudad de Holguín desde el Cauto.

Tabla I: Lluvias en la Provincia Holguín en los últimos 21 años.

AÑOS	LLUVIA ANUAL	PROM HIST	%
1982	1120	1323	85
1983	1185	1323	90
1984	1162	1323	88
1985	1198	1323	91
1986	987	1323	75
1987	1353	1323	102
1988	1035	1323	78
1989	875	1323	66
1990	1241	1323	94
1991	1078	1323	81
1992	1011	1323	76
1993	1160	1323	88
1994	1148	1323	87
1995	1167	1323	88
1996	1219	1323	92
1997	890	1323	67
1998	1289	1323	97
1999	1436	1323	109
2000	1206	1323	91
2001	1472	1323	111
2002	972	1323	73
2003	1093	1323	83

Fuente: Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Holguín.

Diagrama I: Lluvias de Mayo y Junio en los últimos 5 años respecto a la media histórica.

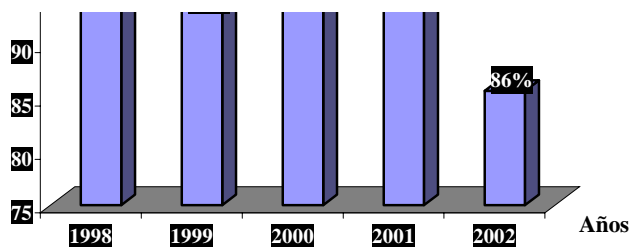




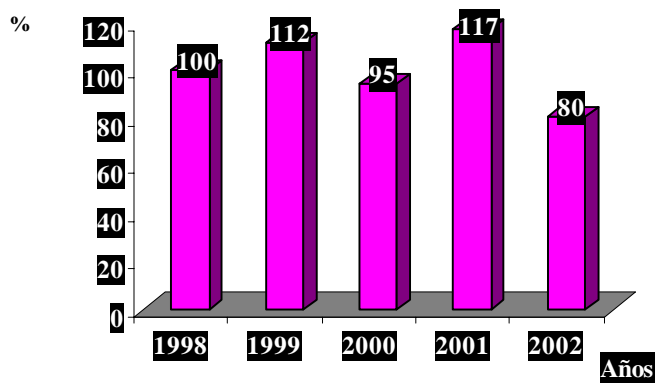
**Fuente:** Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Holguín.

**Diagrama II: Lluvias en la Cuenca de Guirabo respecto a la media histórica.**

**Fuente:** Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Holguín.



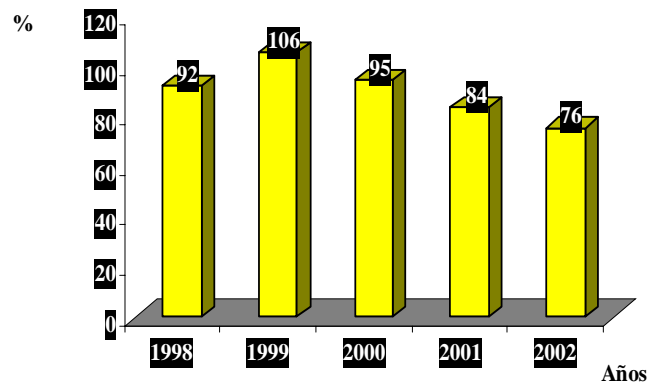
**Diagrama III: Lluvias en la Cuenca de Gibara respecto a la media histórica.**





**Fuente:** Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Holguín.

**Diagrama IV: Lluvias en la Cuenca de Cacoyugüín con respecto a la media histórica**



**Fuente:** Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Holguín.

# LA EDUCACIÓN DE POSTGRADO EN LAS GEOCIENCIAS EN EL INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA. BALANCE Y PERSPECTIVAS

**Carlos Alberto Leyva Rodríguez, Jesús Blanco Moreno, Teresa Hernández Noa, Mario Navarro Consuegra.**

*Instituto Superior Minero Metalúrgico, Rpto Las Coloradas, Moa, Holguín, CP: 83329. Telef: 6-7876, E-mail: cleyva@ismm.edu.cu*

## RESUMEN

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) desde su fundación en el año 1976 ha desarrollado un sistema de educación de postgrado en las ramas de la Geología, Minería y la Protección del Medio Ambiente, el cual se ha consolidado y fortalecido en los últimos años.

Se cuenta con un sistema de superación profesional en este perfil basado fundamentalmente en cursos y diplomados, destacándose la participación en estos de profesionales de la Industria del Níquel, Recursos Hidráulicos, Unión Geominera, Industria de Materiales de la Construcción, entre otros.

Con relación al postgrado académico se imparten las Maestrías siguientes:

- Maestría en Geología
- Maestría en Minería
- Maestría en Beneficio de Minerales

Las especialidades de postgrado que se imparten actualmente en este campo son: Explotación de yacimientos lateríticos y Gestión ambiental en la industria del níquel.

Nuestro centro ha desarrollado un proceso de formación doctoral en las ramas de las geociencias que ha permitido que se cuente con más de treinta doctores en el perfil de las Geociencias y ha contribuido a que alcancen el grado científico en este campo profesionales de otros organismos e instituciones.

Entre los principales retos que afrontamos en la actualidad esta la preparación de los programas de doctorado curriculares en Geología, Minería y Metalurgia, ya que se aprecia un cambio generacional importante donde los jóvenes aspirantes constituyen la mayoría de los formandos, a diferencia de la década anterior. Igualmente se prevé el fortalecimiento de las tecnologías de información y comunicaciones en la actividad posgraduada.

Como novedad para nuestro país se presenta un proyecto en implementación relacionado con una Escuela Doctoral para la Industria del Níquel, desarrollada a partir de experiencias en Francia y Alemania.

## ABSTRACT

Since its foundation in the year 1976 Higher Institute of Mining and Metallurgy of Moa (ISMMM) has developed a system of graduate degree education in the branches of Geology, Mining and the Protection of the Environment, which has consolidated and strengthened in the last years.

It has a system profile of professional advancement fundamentally in this based in courses, diplomacy and graduate certificate, with an outstanding participation of professionals from Nickel industry, Hydraulic Resources, Union Geominera, Construction Materials Industry, among others.

In relationship to the academic graduate degree the following Masters programs are imparted:

- Master in Geology
- Master in Mining
- Master in Benefit of Minerals

Postgraduate specialties imparted at the moment in this field are: Exploitation of lateritic deposits and Environmental management in the nickel industry.

Our center has developed a process of doctoral formation in the branches of the geosciences that has allowed the presence of more than thirty doctors in the geosciences and has contributed to the acquirement of scientific grade in this field, by professionals, from other organisms and institutions.

Among the main challenges we confront at the present time there is the preparation of the curricular doctorate programs in Geology, Mining and Metallurgy since, an important generational change is appreciated, where the young applicants constitute most of the participants, contrary to the previous decade. Equally the strengthening of information technology and communications in the postgraduate activities is foreseen.

As novelty for our country a project is presented in the implementation of a Doctoral School for the Nickel Industry, developed starting from experiences in France and Germany.

## INTRODUCCIÓN

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) cuenta con un sistema de postgrado en geociencias que incluye todas las modalidades del cuarto nivel de enseñanza, a saber:

- Superación profesional (cursos, entrenamientos y diplomados).
- Postgrado académico (maestrías y especialidades).
- Formación doctoral.

## SUPERACIÓN PROFESIONAL

En cuanto a la superación profesional, la misma se ha consolidado existiendo un grado de actividad que abarca profesionales de un espectro amplio de la industria y demás instituciones, entre estas destacan, la Unión CubaNíquel, Recursos Hidráulicos, Unión Geominera, Industria de Materiales de la Construcción, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, entre otros.

El claustro de geociencias lo conforman profesores de los departamentos de Geología, Minería, Metalurgia y el Centro de Estudio del Medio Ambiente (CEMA)

**Tabla I. Composición de las categorías científicas de los profesores de geociencias del ISMMM.**

<b>Categoría Científica</b>	<b>Dpto de Geología</b>	<b>Dpto de Minería</b>	<b>Dpto de Metalurgia</b>	<b>CEMA</b>	<b>Total</b>
Doctores	13	6	9	1	29
Master en Ciencias.	5	4	4	1	14
Total de profesores.	20	11	18	3	52

En las actividades de superación profesional anualmente reciben cursos y diplomados más de 900 profesionales de las geociencias. Se destaca el incremento de los diplomados como figura de postgrado de mayor nivel de integración de conocimientos,

El Diplomado está constituido por un grupo de cursos articulados entre sí, que deben incluir, además, la realización de un trabajo teórico y (o) práctico adicional (tesina), no comprendida en

los cursos que lo integran. El diseño curricular de un diplomado, responde a la existencia de problemas o necesidades concretas de superación de los egresados universitarios previamente determinadas, y tiene como propósito fundamental cumplimentar los requisitos de cargo o puesto de trabajo que ocupa.

Entre los diplomados de mayor repercusión social, en los últimos tres años, se pueden destacar los siguientes:

- Explotación a cielo abierto de yacimientos de materiales de construcción
- Construcción Subterránea
- Peligros y riesgos geológicos
- Geología y Mineralogía de yacimientos residuales de menas lateríticas de níquel y cobalto.
- Ferroníquel.
- Protección del medio ambiente y los georecursos.
- Geología aplicada a la hidrogeología e ingeniería geológica.

En varios países se han impartido actividades de postgrado, entre estos Ecuador, Colombia, México, Costa Rica y Brasil. Al mismo tiempo cursantes de España, Ecuador, Colombia, Angola, Guinea, Zambia y Panamá han realizado o realizan estudios de postgrado en nuestro centro.

Como una prioridad dentro de la atención diferenciada a la Unión Cubaníquel se da asesoría a la Escuela de Cuadros de la Unión del Níquel, adscrita al Centro de Información y Superación del Níquel (CIS). Durante esta colaboración se trabaja en la categorización y capacitación, así como el desarrollo de actividades de superación conjunta, aprovechando sus instalaciones, el centro de Información Científico- Técnica y la conexión a nuestra intranet para la actividad de capacitación y superación de cuadros, reservas y profesionales en general.

Entre los proyectos y redes internacionales que favorecen el fortalecimiento de la actividad de postgrado, pueden destacarse los siguientes: Red de Geomecánica, dentro del programa CYTED – XIII, Red ALEMYMA donde continúa en ejecución el Proyecto para el desarrollo de un Doctorado Académico, Proyecto de Modernización del equipo de laboratorio de Rayos X Universidad de Clausthal, Alemania, Red CYTED- XIII de Metales Preciosos y Rocas y Minerales Industriales, Red AESMIN, de Ordenamiento Territorial, Red de intercambio de profesores de Geología de la UNESCO.

## **POSGRADO ACADÉMICO:**

Se cuenta con una rica experiencia de más de 10 años en la impartición de programas de maestrías y especialidades. En etapas anteriores los programas de maestrías y especialidades impartidos fueron los siguientes: Maestría en Geología, Maestría en Geomecánica, Maestría en construcción subterránea, Maestría en voladura, Maestría en beneficio de minerales. Especialidad de explotación de yacimientos a cielo abierto, Explotación de yacimientos lateríticos y Gestión ambiental para la industria del Níquel.

## **Programas de maestrías y especialidades del ISMM**

Luego del proceso de reestructuración, los programas que actualmente se imparten son los siguientes:



## **Programas de Maestrías**

### *Maestría en Geología*

El programa de maestría en Geología cuenta actualmente con las menciones o perfiles terminales siguientes:

- Geología regional
- Geoquímica
- Geotecnia e Hidrogeología
- Geología Ambiental
- Prospección y Exploración de Yacimientos Minerales
- Prospección y Explotación de yacimientos de petróleo y gas natural

De esta maestría fueron sometidas al proceso de acreditación por la Junta de Acreditación Nacional (JAN) cuatro de sus menciones, resultando certificadas dos Geotecnia e hidrogeología y Prospección y exploración de yacimientos minerales, fueron ratificadas Geología Regional y Geoquímica. Las demás debido a que no poseen dos ediciones concluidas, aún no es posible optar por el proceso de acreditación. En el anexo 1 se expone la estructura general de la maestría en Geología.

### *Maestría en Minería*

Menciones o perfiles terminales de la maestría en Minería:

- Explotación a cielo abierto,
- Protección del medio y restauración minera,
- Beneficio de minerales.

La maestría en Minería ejecuta actualmente la primera edición de su nuevo programa.

## **Especialidades de postgrado**

Por ser esta figura un poco menos conocida que las maestrías y considerar que aún se aprovechan muy discretamente sus potencialidades por parte de las entidades productivas, ofrecemos algunas informaciones sobre las mismas, tomadas del Reglamento de postgrado, 2004, del MES.

La especialidad de postgrado se orienta a satisfacer demandas formuladas por los organismos interesados con el objetivo de alcanzar un alto grado de desarrollo profesional en sus graduados. Se fundamenta en la actividad profesional que requiere un determinado puesto de trabajo, donde se adquieren y/o perfeccionan las competencias profesionales específicas para su desempeño óptimo. A los efectos del intercambio internacional, las especialidades de postgrado y las maestrías son equivalentes.

Las especialidades que existen actualmente en el centro, cumpliendo los preceptos anteriores son:

### *Especialidad de Explotación de yacimientos lateríticos*

Se han impartido dos ediciones de la misma, lo cual permite su proyección para el proceso de acreditación en este año.

La parte académica se organiza en módulos:

Modulo básico: El mismo esta compuesto por las siguientes asignaturas: Topografía General, Geología de Minas, Hidrogeología de Yacimientos Lateríticos, Probabilidades y Estadísticas Aplicada a la Minería, Computación Avanzada.

Módulo específico de tecnología -mecanización de los trabajos mineros: Lo integran: Equipamiento Minero, Transporte, Explotación a Cielo Abierto, Teoría y Práctica de la Administración, Protección del Trabajo y Estabilidad de Taludes.

La estructura del modulo especializado lo componen las asignaturas siguientes: Protección del Medio Ambiente, Diseño de Cantera, Evaluación de Proyectos Mineros, Dirección y Control de la Calidad, Preparación Mecánica y Beneficio del Mineral

Ciclos de entrenamiento - actividad laboral: Se pretende lograr la adquisición de habilidades relacionadas con todas las materias del curso, siendo predominante la tecnología de los trabajos mineros a cielo abierto.

La tesis de la especialidad lo constituye un trabajo integrador que comprenderá los problemas concretos de la minería del níquel.

### *Especialidad de Gestión ambiental para la industria del Níquel*

La misma se desarrolla en su primera edición, la Unión Cubaníquel es la contraparte productiva de la misma. Esta compuesta por tres módulos, con la siguiente estructura:

Modulo básico: Introducción a los Estudios Ambientales, Teoría y Practica de la Administración, Contaminación y Calidad Ambiental, Legislación Ambiental, Socioeconomía Ambiental.

Modulo específico: Tratamiento de Residuales Industriales, Evaluación de Peligros y Riesgos Ambientales, Control y Monitoreo de las Fuentes Contaminantes, Ordenamiento Territorial y Ambiental, Impacto Ambiental de la Industria Minero Metalúrgica, Seguridad Industrial y Medio Ambiente Laboral, Evaluación y Control de la Contaminación Atmosférica, Rehabilitación de Areas Degradadas por la Minería, Hidrogeología Aplicada a los Estudios Ambientales, Tecnologías Apropriadas.

Modulo especializado: Sistema de Gestión Ambiental, Sistema de Formación y Capacitación Ambiental, Evaluación de Impactos Ambientales, Auditorias Medioambientales, Taller Multidisciplinario para el Estudios de Casos.

Ciclos de entrenamiento - actividad laboral y tesis de la especialidad.

## **FORMACIÓN DOCTORAL**

Se han formado en nuestro centro 34 doctores en los perfiles geocientíficos, 26 de ellos de la propia institución y el resto de instituciones externas, entre las que destacan, Unión Cubaníquel, Universidad Central de Las Villas, Universidad de Oriente.

La gran parte de los doctores formados en nuestro centro han sido por la vía tutelar es por ello que uno de los retos que se posee, a raíz del cambio generacional, es implementar los programas de doctorados como se verá más adelante.

En la utilización exitosa de la vía tutelar, que ha sido la que ha predominado hasta la actualidad, tres premisas han sido indispensables para haber logrado los resultados actuales (García,

2004):

La calidad de un proceso continuo y sistemático de asesoría en función de las particularidades del aspirante.

La inmersión del aspirante en un entorno, grupo o equipo con cultura y experiencia investigativa.

La existencia de una infraestructura de investigación, de comunicaciones y de estudio adecuadas.

En la pasada década de los 90, aunque sólo en una minoría de los doctores formados se cumplieron con todas las premisas anteriores, los procesos de formación pudieron llevarse a cabo con rigor y calidad, gracias a que la mayoría de los aspirantes formados por esta vía, eran profesores o investigadores con cierta experiencia en el trabajo de investigación, muchos de ellos con trabajos desarrollados por años, los cuales solamente necesitaban de una reestructuración o completamiento en sus resultados, para que estuvieran listos para su defensa y titulación.

## **PERSPECTIVAS DE LA ENSEÑANZA POSGRADUADA EN EL ISMMM.**

Entre los principales retos existentes que se enfrentan tenemos el perfeccionamiento del trabajo metodológico de la enseñanza posgraduada, lo cual contempla entre otros aspectos, el fortalecimiento de los diplomados como la principal figura dentro de la superación profesional, en este sentido se debe marchar hacia el proceso de acreditación de diplomados, el cual se prepara actualmente.

La evaluación del impacto del postgrado en las instituciones usuarias es una tarea que ya se ejecuta, con temáticas de investigación con apoyo de tesis de maestrías y diplomados y considerando para esto, de manera importante, el apoyo de las Sedes Universitarias Municipales (SUM) y sus estudiantes, pues varias carreras del perfil de humanidades son idóneas para cumplir con esta expectativa.

Es de gran actualidad lograr la inserción de la actividad postgraduada en función de aprovechar eficientemente el proceso de universalización de la educación superior, lo cual nos da posibilidades antes insospechadas y las cuales debemos potenciar íntegramente; esto requiere trabajar en esta dirección con una estrategia clara y bien definida, considerando la diferenciación que pudiera ser necesaria por territorios. Somos de la opinión que puede proyectarse a corto plazo alguna carrera del perfil de geociencias dentro de los programas de universalización, lo cual permitiría hacer llegar de manera más inmediata las posibilidades de nuestras especialidades para potenciar el desarrollo de algunos territorios; en este sentido tienen perspectivas los programas de Licenciatura en diferentes perfiles como puede ser la Geología Ambiental.

La educación a distancia es otro de los principales retos en que se ha comenzado a avanzar en la actualidad, y que amerita por sus potencialidades, un constante desarrollo, máxime si a la vez dejamos como valor añadido en esta dirección el concepto de "aprender a aprender", el cual es vital para la inserción de nuestros profesionales en los cambiantes adelantos de las geociencias en el mundo actual.

La importancia de lograr masificar este proceso de formación queda patentado en el reglamento de postgrado cuando expresa "la educación a distancia en el nivel de postgrado es el proceso de formación y desarrollo del estudiante basado en la autogestión del aprendizaje y en su autonomía en el estudio, que lo capacita para la educación a lo largo de la vida. En dicho

proceso se utilizan tanto las formas tradicionales de educación a distancia como aquellas que emplean, en diferentes grados, las tecnologías de la información y las comunicaciones, bajo la asesoría de un tutor”.

En los programas de maestrías y especialidades se trabaja en cuanto a su consolidación para aspirar al logro de la acreditación; en el caso de la maestría en geología, ya se ha cumplido un primer paso en este proceso y ahora se encamina hacia el logro de la excelencia en varias menciones. Contamos con los planes de desarrollo que deben garantizar este proceso en los programas en ejecución.

Fue presentado a la Comisión Asesora para la Educación de Postgrado (COPEP) el nuevo programa de la Maestría en Metalurgia, el cual basa su experiencia en los antiguos programas ejecutados de Beneficio de Minerales y Metalurgia Extractiva.

Las especialidades que se desarrollan actualmente poseen perspectivas para ser acreditadas, pues ambas (explotación de yacimientos lateríticos, y gestión ambiental para la industria del Níquel) pueden consolidarse y sostenerse en cuanto a su demanda, debido fundamentalmente a las inversiones que se proyectan en cuanto a la expansión de la industria del níquel, aprobadas recientemente por nuestro gobierno.

En referencia a nuestra proyección en la formación doctoral, hemos trazado una estrategia que toma como base lo planteado por García, 2004, “el siglo que comienza se caracteriza, en cuanto a la formación de doctores, por un cambio generacional, donde los jóvenes investigadores constituirán la mayoría de los formandos, a diferencia de la década anterior donde dominaban investigadores con una experiencia de investigación y resultados ya acumulados”.

Basado en lo anterior y en relación con la proyección futura de estos nuevos retos en la formación de doctores en geociencias existen ya presentados a la Comisión Nacional de Grados Científicos tres programas doctorales en las disciplinas siguientes: Geología, Minería y Metalurgia, los cuales son dirigidos fundamentalmente a los jóvenes investigadores.

En las estrategias actuales en relación con la colaboración internacional contamos con los convenios establecidos para fundamentar y desarrollar la cooperación en redes. Actualmente se implementa el doctorado cooperado con la Universidad de Barcelona “Modelización de procesos geológicos”, el cual como plantea entre sus objetivos “pretende impartir este programa en Cuba para lograr la formación superior de un gran número de especialistas, no sólo de Cuba, sino de otros países del tercer Mundo, que han desarrollado o desarrollan sus estudios en Cuba y para los que sería muy difícil cursar el mismo programa de doctorado en Europa. En el Anexo 2 se presenta un resumen de este programa.

Por otra parte hemos propuesto a la Unión Cubaniquel la creación de una escuela doctoral para esta industria, la misma es una experiencia de alemanes y franceses y está directamente vinculado con grupos de investigación con importantes proyectos financiados a mediano y largo plazo.

Se pretende con este proyecto la creación de la Escuela Doctoral para impulsar la formación de los jóvenes investigadores de la industria cubana del níquel, contribuyendo a dotar a la misma de futuros cuadros y líderes científicos con una base teórico metodológica que potencie el desarrollo de esta importante rama en el país. En el Anexo 3 se presenta a modo de referencia la propuesta inicial para encausar el proyecto de escuela doctoral para la industria del Níquel.

## BIBLIOGRAFÍA

- García C. J. 2004. Programas científico-técnicos y programas doctorales. Ministerio de Educación Superior.
- Ministerio de Educación Superior. 2004. Reglamento de Posgrado de la Republica de Cuba.
- ISMM. 2003. Informe cualitativo anual sobre el trabajo de postgrado.
- ISMM. 2004. Informe cualitativo anual sobre el trabajo de postgrado.
- MES. 2003. Resolución 4/ 03 para la introducción de los programas de doctorado en el sistema nacional de grados científicos.

## **Anexo 1. Estructura general del programa de maestría acreditado de Geología.**

Bloque básico: Comprende las siguientes asignaturas, de las que se seleccionaran 20 créditos como mínimo: Metodología de las Investigaciones, Geoestadística, Cartografía geológica, Geología Estructural y Paleotectónica, Estratigrafía y Sedimentología, Geología Ambiental, Petrología ígnea y metamórfica, Petrología sedimentaria, Geoquímica General, Geología de los yacimientos minerales, Ingeniería petrológica, Medio Físico Receptor, Evaluación de proyectos, Administración.

Bloque de formación especializada: Se seleccionarán las materias de acuerdo al perfil terminal matriculado debiéndose acumular por menciones un mínimo de 15 créditos. Se podrán seleccionar a discreción créditos de otras menciones, según los intereses del aspirante y la orientación del tutor.

### *Mención: Geotecnia e hidrogeología*

Ingeniería geodinámica, Ingeniería geológica especial, Mecánica de suelos, Ingeniería geológica regional, Ingeniería geoambiental, Hidrogeología aplicada,

### *Mención: Geología Ambiental*

Medio Ambiente y Desarrollo, Riesgos Geológicos, Geoquímica Ambiental, Sistemas de Información Geográfica, Evaluación de Impacto Ambiental, Recuperación de áreas degradadas, Geofísica ambiental, Hidrogeología ambiental.

### *Mención: Prospección y exploración de yacimientos minerales.*

Rocas y Minerales Industriales, Metalogenia, Métodos geofísicos integrados, Microscopía de menas e Inclusiones Fluidas, Metodología de Prospección, Calculo de reservas, Procesos de alteración, Metalogenia.

### *Mención: Prospección y exploración de yacimientos de petróleo y gas natural.*

Métodos geofísicos integrados en la prospección y exploración de yacimientos gasopetrolíferos, Metodología de Prospección y exploración de yacimientos gasopetrolíferos, Análisis de cuencas sedimentarias, Sistemas Petroleros, Calculo de reservas de yacimientos gasopetrolíferos, Reservorios de yacimientos gasopetrolíferos, Geomecánica de yacimientos gasopetrolíferos, Métodos sísmicos aplicada a la prospección de petróleo y gas.

### *Mención: Geoquímica*

Geoquímica Ambiental, Geoquímica aplicada, Métodos analíticos en Geoquímica, Mineralogía de las cortezas de intemperismo, Técnicas analíticas de fases, Mineralogía teórica, Mineralogía tecnológica.

### *Mención: Geotecnia e hidrogeología*

Ingeniería geodinámica, Ingeniería geológica especial, Mecánica de suelos, Ingeniería geológica regional, Ingeniería geoambiental, Hidrogeología aplicada.

Bloque de investigación: Comienza durante el primer bloque de formación básica y concluye con la defensa de la tesis, La tesis otorga 35 créditos.

### *Título que otorga.*

Master en Geología en la mención seleccionada.



## **Anexo 2. Elementos del doctorado cooperado con la universidad de Barcelona, "Modelización de procesos geológicos".**

*Título: MODELIZACIÓN DE PROCESOS GEOLÓGICOS*

### **Cursos del doctorado cooperado con la Universidad de Barcelona.**

#### **Cursos del módulo académico:**

#### **Curso: Asociaciones minerales en lámina delgada y su interpretación petrogenética y metalogenética.**

**Contenido:** Introducción. Técnicas de análisis cuantitativo de superficies. Microsonda electrónica. Análisis de los datos de química mineral. Cálculo de fórmulas estructurales. Presentación de resultados. Asociaciones minerales en rocas graníticas y yacimientos minerales asociados. Indicadores mineralógicos y geoquímicos de evolución y de potencial metalogenético. Geotermómetros y geobarómetros. Cálculo de  $fO_2$ . Asociaciones minerales en ofiolitas y yacimientos minerales asociados. Su papel indicador. Indicadores mineralógicos y geoquímicos de evolución y de potencial metalogenético. Geotermómetros y geobarómetros. Cálculo de  $fO_2$ . Asociaciones minerales en zonas de alteración hidrotermal y su papel indicador. Geotermómetros y geobarómetros. Indicadores mineralógicos y geoquímicos de evolución y de potencial metalogenético. Cálculo de  $fO_2$  y  $fS_2$ . Criterios de pH. Asociaciones minerales en procesos de alteración meteórica. Lateritas. Zonas de oxidación de depósitos de sulfuros. Escombreras de minas antiguas. Las asociaciones minerales como indicadores de pH y Eh y de cambios paleoambientales. Asociaciones minerales en pegmatitas graníticas y su papel indicador. Geotermómetros y geobarómetros. Cálculo de  $fO_2$ . Indicadores de evolución geoquímica en feldespatos, micas, zircón y otros minerales.

Criterios para identificar pegmatitas de elementos raros fértiles. Significado de las asociaciones de fosfatos primarios, metasomáticos y secundarios. Asociaciones minerales en rocas plutónicas alcalinas y su papel indicador. Geotermómetros y geobarómetros. Cálculo de  $fO_2$ . Pegmatitas asociadas. Criterios para la localización de depósitos minerales de elementos raros. Asociaciones minerales en rocas volcánicas y su papel indicador. Geotermómetros y geobarómetros. Cálculo de  $fO_2$ . Yacimientos minerales asociados a procesos volcánicos. Indicadores mineralógicos y geoquímicos de evolución y de potencial metalogenético. Asociaciones minerales en rocas metamórficas y su papel indicador. Metabasitas. Metapelitas. Yacimientos minerales asociados. Skarns. Geotermómetros y geobarómetros. Cálculo de  $fO_2$ . Skarns. Indicadores mineralógicos y geoquímicos de evolución y de potencial metalogenético. Asociaciones minerales en medios sedimentarios y su papel indicador. Minerales diagenéticos. Yacimientos minerales asociados. Indicadores mineralógicos y geoquímicos de potencial metalogenético.

#### **Curso: Metalogenia asociada a niveles mantélicos y corticales en contexto de arcos de islas oceánicas.**

**Contenido:** Generalidades sobre arcos de islas oceánicas y procesos asociados a zonas de suprasubducción. Métodos de estudio. Depósitos de cromititas ofiolíticas. Depósitos de elementos del grupo del platino. Depósitos de sulfuros de Fe-Ni-Cu. Depósitos volcanogénicos de sulfuros masivos y de manganeso. Depósitos epitermales. Depósitos de oro en zonas de cizalla. Depósitos lateríticos y placeres.

**SALIDA DE CAMPO:** Mina Mercedita: ejemplo de cromititas refractarias en la transición manto-corteza.

### **Curso: Paleontología avanzada**

#### **Contenido:**

1. Conceptos generales. Principales grupos del registro fósil. Su uso en paleontología aplicada a la geología
2. El proceso de fosilización. Tafonomía I: Bioestratinomía
3. Tafonomía II: Fosildiagénesis
4. Tafonomía II: Concentraciones fósiles; Homogeneización temporal
5. Organismos productores de sedimentos. Principales componentes biogénicos de los sedimentos. Bioconstrucciones. Biofacies.
6. Fósiles y paleoambientes. Potencial de conservación de los distintos medios. Procesos y resultados tafonómicos relevantes en sedimentología y análisis de cuencas.
7. Paleoecología: Análisis de poblaciones. Aplicación al análisis de cuenca.
8. Paleoicnología I: Conceptos generales; Bioturbación.
9. Paleoicnología II: Bioerosión; Icnofacies.
10. Los fósiles en Estratigrafía. Micropaleontología. Bioestratigrafía de alta resolución. Estratigrafía secuencial, fósiles y tafonomía. Sucesiones y secuencias registráticas. Gradientes tafonómicos. Discontinuidades del registro geológico.

### **Curso: Análisis estructural y cortes geológicos compensados**

#### **Contenido:**

GEOMETRÍA DE PLIEGUES. Estructuras primarias y secundarias. Criterios de polaridad. Geometría de pliegues. Estructuras asociadas: clivaje y lineaciones, tipos y utilidad. La utilidad de la proyección estereográfica en el análisis estructural. Microtectónica y superposición de deformaciones.

SISTEMAS DE FRACTURAS. Diaclasas y fallas. Estructuras menores asociadas. Criterios de desplazamiento. Métodos de análisis de poblaciones de fallas.

SISTEMAS DE FALLAS. Métodos de construcción de cortes. Sistemas extensivos. Sistemas contractivos. Inversión tectónica. Estructuras de crecimiento y materiales sintectónicos. Ejemplos regionales y su expresión en la sismica de reflexión. Cortes compensados.

### **Curso: Modelización geofísica de estructuras superficiales**

#### **Contenido:**

Tema 1. Introducción

Principales campos de aplicación de los métodos geofísicos superficiales. Importancia económica y de la prospección geofísica. Clasificación de los métodos. Problema directo y problema inverso. Limitaciones de la prospección geofísica. Evolución de los problemas a resolver y técnicas disponibles. Etapas fundamentales de la exploración geofísica. Planteamiento del problema. Elección del método o métodos más adecuados. Planificación de la toma de datos y control de calidad. Interpretación de los resultados.

Elaboración de informes geofísicos.

Tema 2. Métodos eléctricos

Evolución de los métodos eléctricos en corriente continua: desde los sondeos y las calicatas eléctricas a la tomografía eléctrica. Dispositivos electródicos. Sensibilidad y penetración. Instrumentos de medida. Adquisición de pseudosecciones de resistividad. Interpretación de modelos 2D y 3D. Ejemplos de aplicación.

Tema 3. Métodos EM

Principios generales de la prospección por campos electromagnéticos. Ecuaciones fundamentales. Parámetro de propagación. Corrientes de conducción y de desplazamiento. Atenuación de los campos EM y penetración efectiva. Relaciones de fase y polarización elíptica de los campos EM. Clasificación de los métodos electromagnéticos. Métodos de campo próximo y lejano.

**Tema 4. Métodos EM en el dominio de frecuencias y en el dominio de tiempos**  
Sistemas de bobinas móviles. Condición de operación a bajo número de inducción. Relación entre frecuencia, separación entre bobinas y profundidad de investigación. Instrumentos de medida. Interpretación de los datos. Principio de prospección por campos transitorios. Dispositivos de medida. Ventajas de los sondeos TDEM. Inversión de sondeos eléctricos TDEM. Ambigüedad en la interpretación. Ejemplos de aplicación.

**Tema 5. Radar de subsuelo o geo-radar**  
Principios básicos. Características de la propagación de las ondas de radar. Permitividad dieléctrica de los materiales geológicos. Velocidad de las ondas. Atenuación. Coeficientes de reflexión y transmisión. Instrumentos y tipos de antena. Penetración y resolución. Ecuación del radar. Adquisición de datos. Selección de parámetros de medida. Tratamiento e interpretación de radargramas. Ejemplos de aplicación.

**Tema 6. Sondeos de Resonancia Magnética Protónica**  
Fundamento del método RMP. Principio operativo: equilibrio, transmisión y recepción. Metodología de adquisición. Parámetros de medida: amplitud inicial, tiempo de atenuación y fase de la señal de resonancia. Relación entre los parámetros geofísicos y las propiedades del acuífero. Ejemplos de aplicación

### **Curso: Modelización geofísica de estructuras profundas**

#### **Contenido:**

1. EL PROBLEMA INVERSO EN GEOFÍSICA.
2. GRAVIMETRÍA. Campo gravitatorio. Anomalías gravitatorias. Geoide. Modelización. Flexión. Aplicaciones a estructuras corticales profundas.
3. MAGNETISMO. Campo geomagnético. Anomalías. Modelización. Paleomagnetismo. Aplicaciones.
4. SÍSMICA. Refracción. Reflexión. Dispersión de ondas superficiales. Tomografía. Aplicaciones a la estructura profunda.
5. MÉTODOS ELECTROMAGNÉTICOS. Magnetotelúrica. Aplicaciones a la estructura cortical profunda.
6. GEOTERMIA. Distribución de temperaturas. Perfiles reológicos.

### **Curso: Análisis de cuencas y geología del petróleo**

#### **Contenido:**

*Parte A: Generalidades sobre el análisis de cuencas*

**Tema 1.- Fundamentos del análisis de cuencas:**

La aproximación pluridisciplinar al análisis de cuenca. Aproximaciones integradas del análisis estructural y estratigráfico. Factores de control tectónicos, eustáticos y climáticos del relleno sedimentario de una cuenca. Interrelación y jerarquización de los factores

**Tema 2.- Técnicas y métodos de estudio:**

Subsidencia: Análisis geohistórico y evolución de la subsidencia. Análisis de las elevaciones litosféricas. Evolución de áreas fuente y análisis de la procedencia. Discontinuidades estratigráficas y su utilidad. Análisis tectono-sedimentario. Aplicación del paleomagnetismo al análisis estratigráfico y de cuencas. Cuantificación de los procesos de producción y acumulación de sedimento. Factores de control en la producción, dispersión y acumulación del sedimento: Importancia de los conceptos de acomodación y espacio disponible. Tipos de cuencas en función de sus características geotérmicas: Cuencas hipotérmicas e hipertérmicas

**Tema 3.- Sistemas sedimentarios:**

Definiciones, conceptos generales y principios básicos en sedimentología. Facies y asociaciones de facies. Modelos de facies. Clasificación de los sistemas sedimentarios. Sistemas continentales. Sistemas transicionales. Sistemas marinos. Ciclos y ciclicidad en el relleno sedimentario. Cambios climáticos. Eustatismo y cambios del nivel de base

**Tema 4.- Evolución del relleno sedimentario:**

Estilos de depósito en el relleno de las cuencas sedimentarias. Arquitectura de depósito. Criterios de subdivisión del relleno sedimentario. Aproximaciones de la estratigrafía secuencial y genética. Importancia de los grandes procesos transgresivos-regresivos. Relaciones entre los sistemas de depósito

**Tema 5.- Las cuencas sedimentarias en el marco de la Tectónica de placas:** Criterios de clasificación de las cuencas sedimentarias. Extensión y adelgazamiento litosférico: Rifts, protoocéanos y márgenes divergentes. Rifts abortados y cuencas de intraplaca. Sistemas de fallas inversas y transcurrentes. Convergencia y colisión. Cuencas marginales. Cuencas de antepaís periféricas y de retroarco

*Parte B: Aproximación y ejemplos de análisis de cuenca*

**Tema 6.- Ejemplos de cuencas relacionadas con orógenos:**

Las cuencas surpirenaicas. Cuenca del Ebro (Cretácico-Neógeno, NE España NE). La cuenca a caballo de Albarracín (Mioceno, NW Argentina).

**Tema 7.- Ejemplos de cuencas en contextos extensionales:**

Las cuencas extensionales del margen ibérico NE (Mioceno inferior-Holoceno). El paleomargen ibérico SE (Paleógeno, Baleares). La cuenca aluvial-lacustre de Rubielos de Mora (Mioceno medio, NE España).

**Tema 8.- Ejemplos de cuencas intracratónicas y de rift abortado:** La cuenca de Murzuq (Paleozoico, Libia). La cuenca de Araripe (Cretácico, Brasil).

**Tema 9.- Ejemplos de cuencas relacionadas con sistemas de fallas transcurrentes:** La cuenca aluvial-lacustre de As Pontes (Oligoceno- Mioceno inferior, NW España).

**Curso: Riesgos geológicos**

**Contenido:**

Introducción a los riesgos geológicos. Conceptos terminológicos básicos: Amenaza, peligrosidad, vulnerabilidad, susceptibilidad, riesgo, cartografía y zonificación. Predicción espacial y temporal. Fenómenos geológicos que generan riesgo. Impacto de los riesgos geológicos. Procesos geomorfológicos y riesgo asociado. Movimientos en masa y dinámica de laderas. El papel del agua en las laderas y en las cuencas. Peligrosidad geológica por inestabilidades en las laderas. Tipología de los movimientos de ladera: deslizamientos, desprendimientos, flujos. Cartografía de los movimientos de ladera. Factores condicionantes y desencadenantes de los movimientos de ladera. Indicadores de peligrosidad. Evaluación de la peligrosidad. Zonificación de la peligrosidad. Estrategias de prevención y defensa. Relación entre inestabilidades de ladera y dinámica hidrológica. Dinámica en cuencas torrenciales. Zonas inundables.

### **Anexo 3. Proyecto de Escuela Doctoral para la Industria del Níquel.**

#### **Proyecto de Escuela Doctoral para la Industria del Níquel.**

##### **Introducción**

Los doctores en ciencias representan uno de los sectores más importantes del capital humano de una sociedad, más valiosos y necesarios cuanto más desarrollo alcanza la misma. Los procesos de formación de doctores, junto con la inversión en I + D, han sido las principales tareas estratégicas, muy vinculadas entre sí, llevadas a cabo por todos los países del primer mundo en sus políticas de desarrollo, tanto en sus períodos de bonanza como de crisis.

El siglo que comienza se caracteriza, en cuanto a la formación de doctores, por un cambio generacional, donde los jóvenes investigadores constituirán la mayoría de los formandos, a diferencia de la década anterior donde dominaban investigadores con una experiencia de investigación y resultados ya acumulados.

La investigación, cultiva una actitud cotidiana de análisis constante de la esencia de los problemas, de sus causas, de sus consecuencias y proyectar su solución. La incesante búsqueda del conocimiento se acompaña también del desarrollo de la capacidad creativa. Todas estas cualidades y capacidades que se desarrollan en el proceso formativo universitario son cada día más demandadas e imprescindibles para comprender, interpretar y transformar las realidades del cambiante y complejo mundo en el cual deben insertarse los profesionales actuales. Numerosos trabajos demuestran que investigar es la actividad humana que más completamente desarrolla el intelecto.

El Colegio Doctoral o Escuela Doctoral es una experiencia de alemanes y franceses y está directamente vinculado con grupos de investigación con importantes proyectos financiados a mediano y largo plazo.

Es necesario en el marco de estos grupos conceptualizar la dirección del proceso de formación doctoral de tal manera que se vea la formación de doctores como un producto de trabajo del grupo, además de los resultados de investigación que se les exige. Para ello pueden utilizar el paso previo de una Maestría o ir directamente al Doctorado organizando el proceso de formación para un grupo de jóvenes insertados directamente en la trama investigativa. En el mismo se aplican los elementos de la vía tutelar, pero se enriquecen al desarrollarse en el marco de un colectivo mucho más amplio de investigación y formación.

Los elementos principales de esta introducción han sido tomados de García C.J, 2004, trabajo titulado Programas científico-técnicos y programas doctorales.

##### **Problema**

Necesidad de Diseñar y ejecutar programas de investigación + doctorados en las áreas priorizadas de la industria del níquel, en las que se integren en red el ISMM y el Grupo Empresarial CUBANIQUEL, aprovechando sus potenciales mutuamente.

##### **Objetivo**

Creación de la Escuela Doctoral para impulsar la formación de los jóvenes investigadores de la industria cubana del níquel, contribuyendo a dotar a la misma de futuros cuadros y líderes científicos con una base teórico metodológica que potencie el desarrollo de esta importante rama en el país.

### *Características Generales de la Escuela Doctoral.*

Esta nueva figura para la formación de doctores tiene como eje central a la investigación. Por lo tanto, es imprescindible que estén articulados con el Programa ramal de la industria del Níquel, y con Proyectos de Colaboración nacionales e internacionales, como vías fundamentales para garantizar los recursos que requiere la actividad investigativa.

Es necesario una selección y aprobación previa de los aspirantes. Los métodos de selección y aprobación empleados serán, alguno de los siguientes:

- Estudio del expediente, realización de entrevistas y aprobación por el comité de doctorado creado al efecto.
- Realización de ejercicios y examen de ingreso.
- Evaluación del desempeño del aspirante en un entrenamiento.

Una vez seleccionado el grupo de aspirantes, se deben diseñar un grupo de cursos que deben aprobar, como parte de su preparación para el examen de especialidad.

Una vez acabado el período de los cursos, el aspirante deberá presentar su tema de disertación, el cual será analizado para su aprobación y designación de los tutores, otros investigadores del colectivo servirán de consultantes, y también un grupo de alumnos de pregrado y de maestría le pueden servir de colaboradores.

En el plan de trabajo del aspirante en el caso del trabajo experimental, se incluyen períodos de formación en laboratorios, a fin de desarrollar sus habilidades de investigación y las habilidades necesarias para presentar y publicar resultados científicos.

Para lograr todo lo anterior se establecen tres componentes esenciales:

#### 1.- Formación Teórico Metodológica:

Adquisición de conocimientos y habilidades necesarias para la rama y el trabajo de investigación

- Cursos seleccionados, incluye cursos avanzados en el área del conocimiento.
- Preparación académica en Problemas Sociales de la Ciencia, Idiomas, Metodología de la investigación, etc.

#### 2.- Formación como investigador:

- Trabajo de investigación
- Seminarios de tesis
- Comunicaciones en eventos
- Publicaciones, entre otras.

Trabajo dirigido por el tutor o tutores y apoyado por consultantes y colaboradores.

#### 3.-Preparación de la tesis:

#### 4.-Predefensa y defensa.

El tema debe formar parte de un Proyecto de investigación financiado, con tutor y consultantes, interrelacionado con otros aspirantes y apoyado por colaboradores con énfasis en el trabajo multi e interdisciplinario.

*Uno de los resultados probados de este método de formación doctoral, no está solamente en la mejor calidad de sus graduados- traducida en un más amplio perfil de los doctores formados,*



*elevadas capacidades de trabajo en equipo y mayores habilidades en enfoques interdisciplinarios- ni tan siquiera en su mayor eficiencia - mayor promoción y reducción sensible de los períodos de formación- sino en dejar, como valor agregado, organizadas y funcionando las células del futuro tejido investigativo: las redes, los equipos de trabajo y las pirámides académicas de investigación. Este nuevo valor agregado es lo que diferencia cualitativamente la investigación institucional respecto a la tradicional investigación individual.*

### **Características específicas de la Escuela Doctoral propuesta**

El programa doctoral propuesto se vinculara directamente al programa ramal de la industria del Níquel, 2004-2008, especialmente potenciando el mismo en sus propósitos de Fortalecer la posición del Grupo Empresarial CUBANIQUEL como uno de los primeros productores a escala mundial.

Entre las líneas principales de investigación propuestas que servirán de base para la selección de los temas (proyectos) de investigación de los cursantes estarán.

1. Geología y Minería (Aplicación de métodos de pronóstico y minado, que permitan dirigir los parámetros de calidad del flujo de mena).
2. Eficiencia Metalúrgica y Energética del Proceso Tecnológico.
3. Mejoramiento de la calidad del producto final.
4. Introducción de nuevas tecnologías en las empresas de servicios.
5. Medio Ambiente (Caracterización del ecosistema y la influencia de la industria sobre el medio).

### **Otros aspectos organizativos.**

Se creara, luego de la aprobación de esta intención de proyecto, un comité de doctorado compuesto por especialistas del ISMM y el grupo empresarial Cubaníquel, el cual elaborara los aspectos específicos para implementar el mismo.

El grupo de cursantes propuestos, según los intereses de la industria, alcanzara una cantidad de entre 10 a 15 compañeros, especialmente jóvenes talentos, a los cuales se le elaborara un calendario a propuesta del comité de doctorado. El tiempo total de formación hasta la defensa de tesis será de aproximadamente 3, 5 años.

El financiamiento de este programa debe correr, fundamentalmente, a partir del propio programa ramal de investigaciones de la industria, el cual lo deberá priorizar según proyectos de investigación aprobados.

Elaboración: Vicerectoría de Investigaciones y Postgrado  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

## LA EDUCACIÓN AMBIENTAL VINCULADA AL RECURSO HIDRICO SUBTERRANEO MEDIANTE CÍRCULOS DE INTERÉS Y SU IMPACTO EN LA COMUNIDAD: RESULTADOS DE UN PROYECTO.

**Nelson González Cabrera<sup>(1-3)</sup> Roberto Peláez García<sup>(2-3)</sup> César Figueroa Sierra<sup>(1)</sup>**

(1) Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales (ECOVIDA-CITMA) Km 2<sup>1/2</sup> car. Luis Lazo, Pinar del Río, E-mail: nelson@ecovida.inf.cu

(2) Empresa Geominera Pinar del Río (EGM-Minbas) Calle Martí no. 146, Pinar del Río

(3) Dpto. de Geología Universidad de Pinar del Río. Calle Martí N°270, esq. a 27 de noviembre, Pinar del Río.

### RESUMEN

La ciudad de Pinar del Río cuenta con aproximadamente 130 000 habitantes, que emplean agua subterránea para el consumo. Los programas de educación ambiental son imprescindibles para romper las barreras y desconocimiento y se consagren en la protección del agua como recurso vital que le brinda la naturaleza de manera sostenible. Por este motivo entre otros se ha desarrollado a partir del año 2001 y hasta marzo de 2004 un proyecto auspiciado por el CITMA que involucra a niños de 15 escuelas primarias del municipio y la participación directa de 150 infantes de cuarto a sexto grado. Entre los resultados mas notables obtenidos se destaca la creación de 15 círculos de interés con incidencia directa en los CDR y Consejos Populares, se impartieron 17 temas educacionales relacionados con las aguas subterráneas y su conservación, se capacitaron 20 profesores de la enseñanza primaria como multiplicadores del conocimiento ambiental del recurso. Se transmitieron programas de radio por la emisora provincial, se presentaron 10 spot durante el desarrollo del proyecto que continúan divulgándose, se presentó además programas interactivos en el espacio estación intermedia con una duración de 30 minutos todo esto con participación de los niños y promotores. Las visitas al campo fueron dirigidas hacia la principal fuente de abastecimiento de agua a la población (campo de pozos), pozos de organopónicos, tanque de distribución de agua y otros objetivos. Este proyecto es pionero en la provincia y sus resultados fueron evaluados por las comisiones científicas CITMA, INRH, Gobierno y MINED, a distintos niveles como relevantes.

### ABSTRACT:

Pinar del Rio city consists on about 130 000 inhabitants that use underground water for their consumption. The programs of environmental education are necessary for breaking barriers and ignorance and they are devoted to water pollution as a vital resource that nature offers in a sustainable way. For that reason, among others, has been developed, from 2001 to 2004, a project sponsored by CITMA which includes children of 15 primary schools of the municipality and the direct participation of 150 infants of fourth and sixth grades. The most remarkable results were: the creation of 15 environmental clubs with a direct incidence in the community, the development of 17 educational topics related to underground water and its conservation, 20 teachers of primary schools diffused their environmental knowledge about the resource. Some radio programs were transmitted by the province radio station, 10 spots of publicity were shown during the development of the project and they are still presented. Interactive programs of 30 minutes of duration where participate children and environmental promoters were presented. The excursions to the fields were directed to see the main water supply to the population (well field), organoponic wells, tank of water distribution and other places. This project is the pioneer about this topic in the province and its results were evaluated as relevant by scientific commissions of CITMA, INRH, MINED and the province government.

## INTRODUCCION

Es una realidad que en los últimos 50 años se han producido cambios espectaculares bien sea en el campo científico y tecnológico como en el político-social de nuestros países. Estos cambios han tenido un gran impacto en el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos, impacto que ha tenido muchas etapas y aspectos positivos y algunos negativos.. Además están lejos los tiempos en que las aguas subterráneas eran algo que no se entendía, con misterios y comportamientos inexplicables para la ciencia. Hoy en día la ciencia hidrogeológica esta bien sustentada sobre bases científico- técnico como lo son otras ramas del conocimiento y sus aplicaciones en relación con el ser humano.. Pero, como para el caso de la Física, Química o las Matemáticas, en hidrogeología es necesario también aprender los aspectos básicos y preparar al individuo desde edades tempranas en adquirir una mentalidad y cultura apropiada. En este sentido los programas y proyectos de Educación Ambiental resultan indispensables para crear en los ciudadanos esa mentalidad.

Con el propósito de contribuir en la formación de los futuros ciudadanos en relación con la formación de esa cultura y conocimientos acerca del agua, y en particular con la subterránea, se ha desarrollado desde el curso académico 2000-2001 y hasta el 2002-2003, un proyecto auspiciado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) en la ciudad de Pinar del Río, con la participación de alumnos de la enseñanza primaria (4ª a 6ª grado) y de hidrogeólogos de varias instituciones (centro de Investigaciones y Servicios Ambientales, ECOVIDA, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, INRH, Empresa Geominera) asesorados por pedagogos especializados en educación primaria.

En total participaron 15 escuelas, con 15 alumnos por cada una y 2 promotores en cada una, representados por los maestros.

En el trabajo se recogen los aspectos de mayor interés vinculados con las tareas realizadas tanto por los niños como por parte de los investigadores, así como los resultados obtenidos y la posibilidad de continuar y generalizar esta experiencia..

## MATERIALES Y METODOS

El proyecto comenzó con un Taller de Participación y Debate con todos los integrantes, donde se enfatizó en la preparación de los promotores (maestros) Además, se estableció como se prepararían los temas a impartir, así como la frecuencia de los encuentros y las visitas a los distintos lugares vinculados con el agua subterránea en la ciudad. Por otro lado, también se trazaron las pautas a seguir para dar a conocer por los medios de comunicación masiva la marcha del trabajo (radio y televisión), y la necesidad que los niños fueran los protagonistas en estas acciones.

La preparación de los maestros, en relación con los conocimientos del agua subterránea, estuvo basada fundamentalmente a través de libros (Custodio y Llamas, 1983; Llamas, Fornés et al 2000) manuales, artículos publicados en revistas (Hirata y Reboucas, 1999), fotografías y charlas preparadas por los investigadores con el propósito de aumentar y ampliar los conocimientos de aquellos. Según los representantes del Ministerio de Educación Municipal presentes en el taller, debían crearse 15 círculos de interés en igual numero de escuelas, con la participación de 10



niños en cada uno y dos maestros promotores. Siempre estuvo presente la idea de no crear una asignatura nueva a impartir a los alumnos, sino incluir los temas de las asignaturas que ellos reciben en el programa de estudio según el grado en cuestión (4ª, 5ª o 6ª grado) EL Mundo en que Vivimos, La Naturaleza y Yo, o Geografía, y vincularlo con el agua en general, con énfasis en las subterráneas

Se Prepararon 24 temas a impartir por los investigadores a los maestros, y de estos se escogieron 17 por los maestros y pedagogos para ser enseñados a los niños, en los tres años de duración del proyecto, con frecuencia semanal sin interferir en sus clases. Por su parte los alumnos basados en los aspectos y temas tratados en los círculos de interés comenzaron a realizar distintas tareas e iniciativas como: poesías, cartas a otros niños donde exponen la importancia del agua, y otros aspectos relacionados con su aprovechamiento, protección y ahorro. Otros trabajos confeccionados por ellos fueron dibujos, maquetas y posters, donde reflejaron como llega el agua a sus casas, como se distribuye en la comunidad o barrio donde residen y de donde procede.

Como complemento de los temas impartidos en las escuelas, se realizaron visitas al Centro de Distribución de Agua en la Ciudad Capital, con la participación de especialistas que les explicaron el funcionamiento, al Campo de Pozos de donde se abastece la ciudad, también se efectuaron visitas a los organóponicos de la ciudad que emplean para el riego agua subterránea. Otras visitas estuvieron encaminadas a observar muestras de roca en el museo de Geología situado en el Centro Geólogo-Minero de la Ciudad, así como al Museo de Historia Natural.

## RESULTADOS

- Capacitación y preparación de 150 niños vinculados con los Círculos de Interés como promotores Ambientales para el ahorro de agua con incidencia en su familia y la comunidad, presentándose en sus cuadras en distintas actividades.
- Presentación de 63 exposiciones , en los tres años del proyecto, 30 en las jornadas de Círculos de Interés a Nivel de Escuela, 18 a nivel de Consejo Popular, 11 a nivel Municipal en los encuentros de Círculos de Interés y 3 a Nivel provincial, estas últimas una cada año.
- Presentación de los avances de los círculos por parte de los niños en Jornadas Científicas Estudiantiles auspiciados por el Museo de Historia Natural de la Ciudad Capital.
- 10 maestros capacitados como promotores ambientales y preparados para continuar con estas actividades una vez terminado el proyecto.
- Confección de un set de documentos metodológicos sobre acciones a desarrollar para el ahorro del agua.
- Divulgación mediante Spot radiales (3 ciclos con 5 piezas cada uno, a ciclo por año) por la cadena de radio provincial.
- Participación de los niños y promotores en programas radiales interactivos con la población, en espacios de 30 minutos (5 programas).
- Presentación en Tele Pinar por parte del coordinador del proyecto en cuanto a los objetivos del mismo (año 2001) y desarrollo (año 2003).



- Presentación de los avances y resultados del proyecto en 15 eventos en los distintos niveles: provincial, nacional e internacional. En algunos con la participación de los niños.
- Publicación en memorias de eventos donde se presentaron los avances del proyecto. Así como dos artículos publicados con la temática.

## DISCUSION

La Educación Ambiental resulta ser una herramienta muy importante y del mayor interés para nuestras sociedades, con vistas a crear desde la infancia el amor y cuidado por la naturaleza a los futuros ciudadanos, así como enseñarlos a vivir en armonía con ella. En realidad estos programas deben abarcar a todos los sectores de la sociedad, desde los niños, jóvenes y menos jóvenes, hasta los líderes de comunidades y decisores en la administración de los recursos naturales, que además, para el caso de las aguas subterráneas resulta en un recurso que todavía no es bien comprendido por algunos en cuanto a funcionamiento de los acuíferos, situación en el medio natural o formas de cómo pueden contaminarse.

Por su parte, del intercambio de experiencias entre los promotores, maestros y personal de investigación, con los técnicos y personal de operaciones en la administración y servicios del agua en los distintos niveles se llega a conocer de forma mas directa y cercana a la realidad donde existen deficiencias y como contribuir a eliminarlas o al menos atenuarlas. Aquí juegan un importante papel los niños en la familia, pues transmiten a padres, hermanos y demás familiares las apreciaciones y conocimientos adquiridos llegando a plantear en reuniones y otras actividades colectivas por parte de ellos alertas y comparaciones ante dificultades en el suministro de agua, el ahorro y la protección del recurso ante la contaminación.

El poder de asimilación o comprensión de los niños en estos temas esta muy vinculado como lo ha demostrado el proyecto, con el lenguaje empleado al expresar los temas de estudio, que ha de ser claro, sin muchos tecnicismos y asociándolo con casos reales y cercanos a ellos. Ellos también se muestran interesados por los temas impartidos en la medida que se asocian con las asignaturas que reciben en el grado escolar que les corresponda.

## CONCLUSIONES

La Educación Ambiental resulta una poderosa herramienta para transmitir experiencias, conocimientos y habilidades a los niños, así como a la comunidad en general. Para el caso que nos ocupa el proyecto ha contribuido a comprender mejor el papel del agua en la sociedad.

La difusión del proyecto a través de los medios de comunicación masiva despertó el interés de otros miembros de la sociedad (jubilados, amas de casa, intelectuales y trabajadores en general) sobre los temas del agua y en particular la subterránea, y la necesidad del ahorro y protección ante agentes contaminantes.

La escuela ha resultado ser un elemento básico en la formación ambiental de los niños que formaran las nuevas generaciones de ciudadanos, debidamente preparados para enfrentar los retos que tendrán ante ellos relacionados con la problemática ambiental.

## BIBLIOGRAFIA

- Custodio, E y M. R. Llamas, 1983. Hidrología Subterránea. Editorial Omega, 2 vol. Barcelona, 2347 pp. ( 2ª Edición)
- Llamas M. R., J. M. Fornés, N. Hernández- Mora, L. Martínez. 2000. Las Aguas Subterráneas: Retos y Oportunidades. Fundación Marcelino Botín, Edit. Mundi-prensa, Madrid. Capítulo 12: 2 - 30
- Hirata, R. y F. Reboucas. 1999. Los perímetros de protección sanitaria de las fuentes de aguas subterráneas. Hidrología Subterránea, Vol. 106 (Madrid)



## **GEOFOTOS: UNA BASE DE DATOS AL SERVICIO DE LOS GEOCIENTÍFICOS Y DEL SISTEMA DE EDUCACIÓN SUPERIOR.**

**Rolando García Sánchez, Osvaldo Rodríguez Morán, Evelio Linares Cala**

*Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No 169 esq a Churruca Cerro Ciudad de La Habana e.mail [rgarcia@ceinpet.cupet.cu](mailto:rgarcia@ceinpet.cupet.cu), [ormoran@ceinpet.cupet.cu](mailto:ormoran@ceinpet.cupet.cu), [belo@ceinpet.cupet.cu](mailto:belo@ceinpet.cupet.cu).*

### **RESUMEN**

El uso de las imágenes digitales en diversas ramas del saber, se ha incrementado en los últimos años.

Esta tecnología, se está convirtiendo de una manera asombrosa, en el método principal de trabajo en muchas ramas de las ciencias. Una imagen a veces sustituye varias cuartillas de expresión escrita.

Las Geociencias no son una excepción, ya que muchos de los fenómenos que son el objeto principal de estos estudios, son visibles solo por un determinado periodo pues están amenazados por los agentes naturales o la acción del hombre.

En otros casos, los objetivos de interés geológico se encuentran en lugares tan distantes y a veces de difícil acceso, que no siempre es posible llegar a ellos.

Es por esto que nos dimos a la tarea de la preparación de una base de fotos digitales que recoge imágenes de cientos de parajes geológicos cubanos, lo que en sentido general tiene la finalidad de facilitar a los geocientíficos - en particular a profesores y estudiantes de las ciencias geológicas de la enseñanza superior-, parte de la información generada por el Proyecto "Estudio sobre el terreno de localidades de interés para las investigaciones petroleras en la República de Cuba", que se ejecutó recientemente en el Centro de Investigaciones del Petróleo.

Complementariamente, junto con las fotos se brinda una breve explicación sobre el desarrollo geológico del archipiélago cubano y los diferentes elementos que lo componen, ubicando las imágenes por su interés (científico o económico) dentro de cada una de los estadios de la evolución geodinámica.

Esta Base de Datos fue diseñada y programada en Microsoft Access. Dentro de sus elementos posee: un captador de Datos y un Generador de Reportes en el cual se combinan para realizar las consultas, todas las posibles variantes a partir de las propiedades asignadas a cada foto.

### **ABSTRACT**

The use of the digital images in diverse branches of the knowledge, it has been increased in the last years.

This technology is becoming in an astonishing way, in the main method of work in many branches of the sciences. An image sometimes substitutes several sheets of written expression.

The Geoscience is not an exception, since many of the phenomena which are the main object of these studies, are visible alone for a certain period because they are threatened by the natural agents or the man's action.

In other cases, the objectives of geologic interest are in places so distant and sometimes of difficult access that is not always possible to arrive to them.

It is for this reason that we gave ourselves to the task of the preparation of a digital pictures Base which picks up images of hundred of Cuban geologic places, what has the purpose of facilitating to the geoscientifics in general sense -in particular to professors and students of the geologic sciences of the higher education-, it leaves of the information generated by the Project "I Study on the land of towns of interest for the oil investigations in the Republic of Cuba" that was executed recently in the Oil Research Center.

Complementarily, together with the pictures it offers you a brief explanation on the geologic development of the Cuban geology and the different elements that compose it, locating the images for their interest (scientific or economic) inside each one of the stadiums of its own evolution.

This Database was designed and programmed in Microsoft Access. Inside their elements it possesses: an data acquisition, and a Reports Generator in which you carry out the consultations, all the possible variants starting from the properties assigned to each picture.

## **Introducción**

Después de la realización en el CEINPET del Proyecto denominado “Guía práctica para el estudio sobre el terreno de localidades de interés gasopetrolífero”- el cual por su contenido demostró la gran utilidad tanto para las compañías foráneas interesadas en las negociaciones con Cuba, como a organizaciones geológicas nacionales-, nos inquietaba la idea de mostrar las principales localidades geólogo – petroleras con su descripción de acuerdo a la naturaleza de las mismas, complementadas con imágenes, lo que permitiría ver sus características sin necesidad de moverse del gabinete.

## **Métodos y resultados**

Considerando que las imágenes digitales cada día tienen mayor aplicación en todas las esferas de las ciencias, el presente trabajo - que contiene a una base de datos de imágenes-, fue concebido con la finalidad de mostrar a profesionales y estudiantes cientos de parajes geólogo – petroleros que disponíamos en nuestros archivos.

Los principales objetivos que se planificaron, permiten conocer y actualizar los conocimientos de sitios que tienen características de rocas madre, rocas reservorios, rocas sellantes o simplemente estaciones de interés geológico que se destacan por presentar manifestaciones superficiales o someras de hidrocarburos líquidos, sólidos o gaseosos, manifestaciones de aguas termales, minerales o sulfurosas, entre otros aspectos.

La actualización práctica de los conocimientos geológicos, comprende un conjunto de técnicas, que requieren en su mayoría, de trabajos de campo, que se auxilian de observaciones y estudios en los trazados de nuevos caminos, la construcción de nuevas canteras en explotación o ya abandonadas, tanteos en las perforaciones de nuevos pozos, estudios en las manifestaciones superficiales tanto de hidrocarburos como de aguas altamente mineralizadas o sulfurosas.

Pero sucede a veces, que los sitios que nos permiten obtener estos datos, con el transcurso del tiempo desaparecen, bien sea por la acción de la erosión natural o por la acción antropógena con sus construcciones y transformación del entorno. También suele suceder, que estos sitios se encuentran en lugares de difícil acceso o su lejanía constituya un obstáculo para acarrear datos.

Y si no fuimos capaces en su momento de registrar y documentar estas imágenes,

nunca podremos utilizarlas en la ilustración geológica de informes u otros usos.

Es por esto, que durante muchos años, en los trabajos conjuntos que hemos realizado con compañías extranjeras y en trabajos propios de la actividad de prospección geológica para la actividad petrolera de CUPET, hemos acumulado un importante volumen de imágenes relacionadas con la documentación de sitios geológicos en todo el territorio nacional, susceptibles de ser sistematizadas y situadas en una adecuada base de datos, que pueda ser utilizada y enriquecida por los interesados.

En la obra se presenta una Base de Datos denominada **GeoFotos**, en Microsoft Access, de manera que el interesado pueda interactuar de forma fácil y rápida con los reportes que aquí se brindan.

A modo de introducción se presenta en Microsoft Power Point un esbozo de los principales aspectos de la evolución y constitución geológica del archipiélago cubano, con el propósito de familiarizar a los usuarios con el origen y nomenclatura que se postula para denominar las diferentes unidades y elementos geológicos íntimamente relacionados con los reportes y sitios aquí descritos.

En estos reportes o fichas se presentan las descripciones del objetivo (sitio geológico), de acuerdo con su naturaleza, acompañado de una de las mejores fotos de nuestra amplia colección. Además, para una rápida comprensión se brinda:

- La ubicación geográfica en el territorio nacional (provincia y municipio)
- La georreferenciación por coordenadas en Sistema Lambert, plancheta ICGC a escala 1: 50 000.
- La afiliación del objetivo descrito a la Unidad Geológica a que pertenece.
- En el total de 350 reportes que aquí se presentan, y que dicho sea de paso se continuarán agregando nuevos sitios, se destacan varias temáticas, tales como:
  - Manifestaciones superficiales o someras de hidrocarburos sólidos, líquidos o gaseosos.
  - Manifestación de aguas sulfurosas o termales, su composición química y utilización.
  - Pozos en perforación, en producción y agotados con valor histórico.
  - Historia de yacimientos activos o agotados.
  - Variados afloramientos donde se pueden apreciar:
    - La información de los análisis geoquímicos de los petróleos encontrados en ellos.
    - Detalles estratigráficos (tipos de estratificación, presencia de fósiles u otras características distintivas y sus fotos).
    - Detalles de aspectos estructurales (fallas, plegamientos, espejos de fricción, etc.)
    - Detalles sedimentológicos (granulometría, naturaleza y rasgos

indicadores del medio de deposición de las rocas).

El Sistema de Base de Datos fue diseñado a partir de considerar la foto (sitio geológico) como el objeto principal. A partir de esto se establecen las propiedades ya explicadas anteriormente. En la Tabla 1 se muestra el Diccionario de Datos, es decir, las características de los campos de la Tabla Principal (FotoDatos) y como se puede apreciar, solo aparecen tres nomencladores asociados a esta Tabla.

En la Figura 1 se muestra la imagen de la estructura de relaciones de la Base de Datos. En esta figura se puede ver la Tabla Principal (FotoDatos) como se relacionan los nomencladores con la Tabla Principal en una relación de **uno a muchos**.

Al iniciar el Sistema aparece una pantalla como la mostrada en la Figura 2. Aquí se establecen tres botones: el primero para acceder al captador de Datos, el segundo para cargar el Generador de Reportes y el tercer botón para salir del Sistema.

Ya en el Captador de Datos (Figura 3) una serie de controles aparecen reflejados en él, los cuales ayudarán a establecer las propiedades de cada Foto, por ejemplo: las cajas de texto para teclear las coordenadas Lambert del sitio, el nombre con que identificará la Foto, el camino donde se ubica la foto como fichero entre las carpetas y el Pié de Foto y las listas de los nomencladores para seleccionar la Unidad Geológica, la Formación y la Manifestación que representa el Sitio. Aparece además un control para ver la imagen que está vigente en ese momento de edición. Aquí aparecen los botones de control para la función de Adicionar nueva Foto, Salvar, Eliminar y Salir del Captador.

La imagen del Generador de Reportes viene mostrada en la Figura 4. Aquí podremos construir una consulta para obtener de esta manera una serie de fotos y sus propiedades que cumplan con las condiciones establecidas en la consulta. La consulta puede estar condicionada por los elementos que se encuentran en este Generador de Reportes, estos elementos son: Unidad geológica, Manifestaciones y Formaciones. Puede consultarse por la ubicación espacial de las Sitios de las fotos y por los nombres denominadores de cada foto. De cualquier consulta pueden generarse una foto, varias o ninguna, en dependencia del conjunto de fotos que cumplan la condición propuesta. Posee dos botones: uno para ejecutar el Reporte diseñado por la consulta y el otro de Salida del módulo de Generador de Reporte.

La Figura 5 es un ejemplo de reporte en el que se muestra una Foto con sus propiedades. Desde aquí puede imprimirse el Reporte.

## Bibliografía

Gómez, J., Linares, E., García, R., et al., *Oil & Geosit: Guía práctica Localidades de Interés Gasopetrolífero en CD-Rom*; ISBN 959-7160-03-X, Cuba, 2000.

Furrazola, G., Núñez, K., *Estudio sobre Geología de Cuba*, Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología, La Habana, Cuba, 1997.

Linares, E., García, R., et al., Proyecto 2130: *Guía práctica para el estudio sobre el terreno de Localidades de Interés Gasopetrolífero de la República de Cuba*. Informe inédito Archivo CEINPET, Cuba, 2001.

**Tabla: FotoDatos**

CAMPO	TIPO	TAMAÑO	DESCRIPCION
IdGeoFoto	Entero	4	Indice de la Tabla
NombreFoto	Texto	255	Nombre de la Foto
Camino	Texto	225	Ubicación de la Foto
CodUTE	Entero	4	Indice de la Unidad Geológica
CodForm	Entero	4	Indice de la Formación
CodManif	Entero	4	Indice de la Manifestación
PieFoto	Memo		Texto explicativo sobre la Foto
CoordX	Doble	8	Coordenadas Lambert X
CoordY	Doble	8	Coordenadas Lambert Y

Tabla 1. Diccionario de Datos de la Tabla Principal de la Base de Datos.

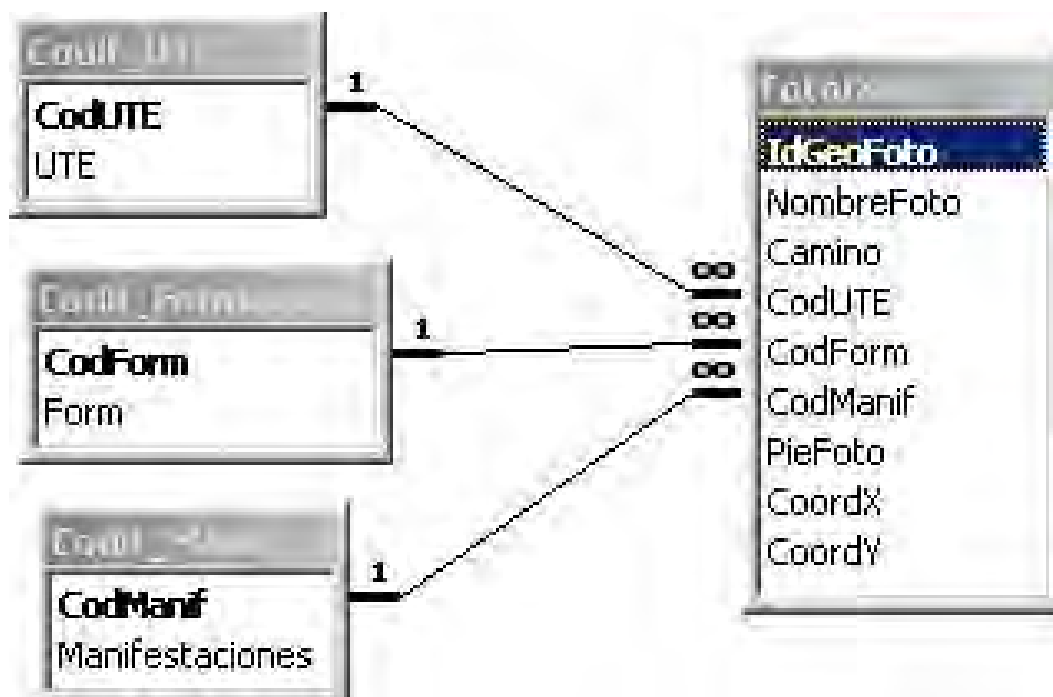


Figura 1. Estructura de la Base de Datos (Tabla Principal y tres nomencladores).

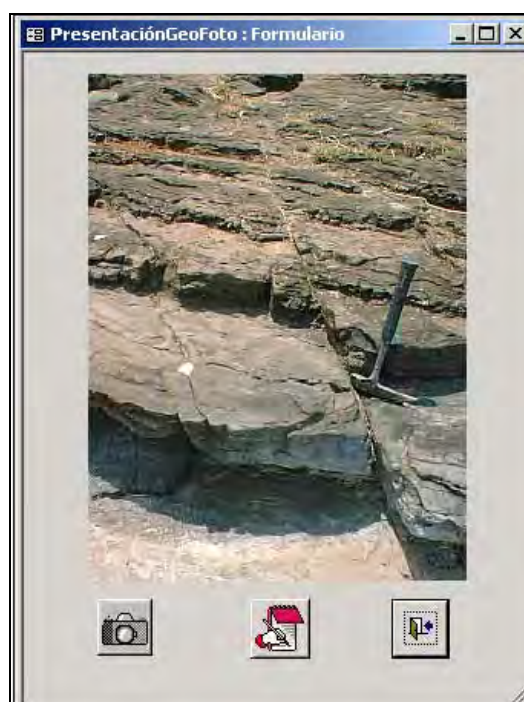


Figura 2. Pantalla inicial del Sistema en la que trae tres botones para acceder a las diferentes partes del Sistema de Base de Datos.



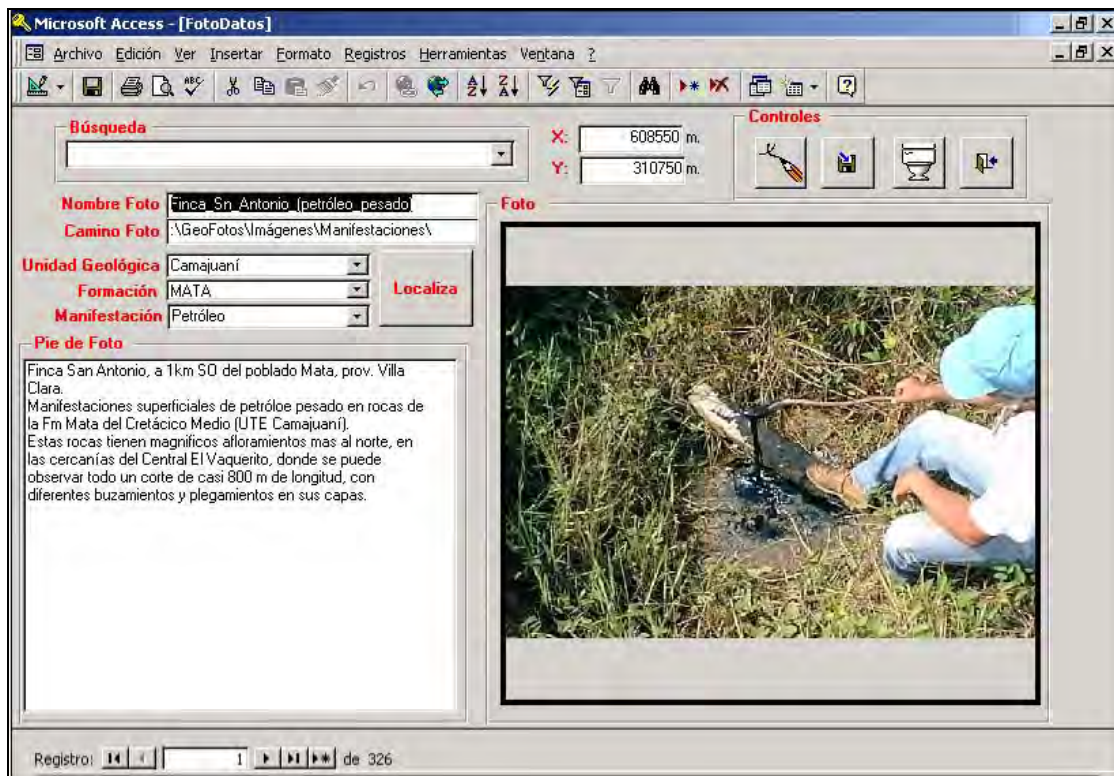


Figura 3. Captador de Datos de la Base de Datos

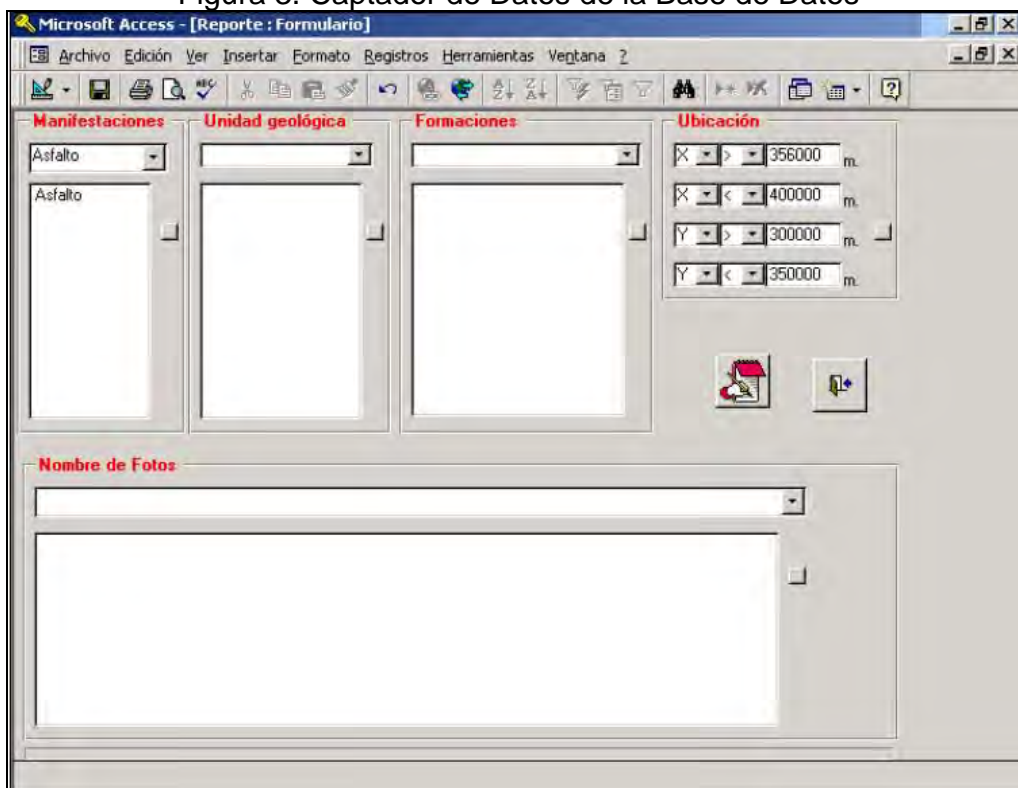


Figura 4. Pantalla del Generador de Reportes de la Base de Datos

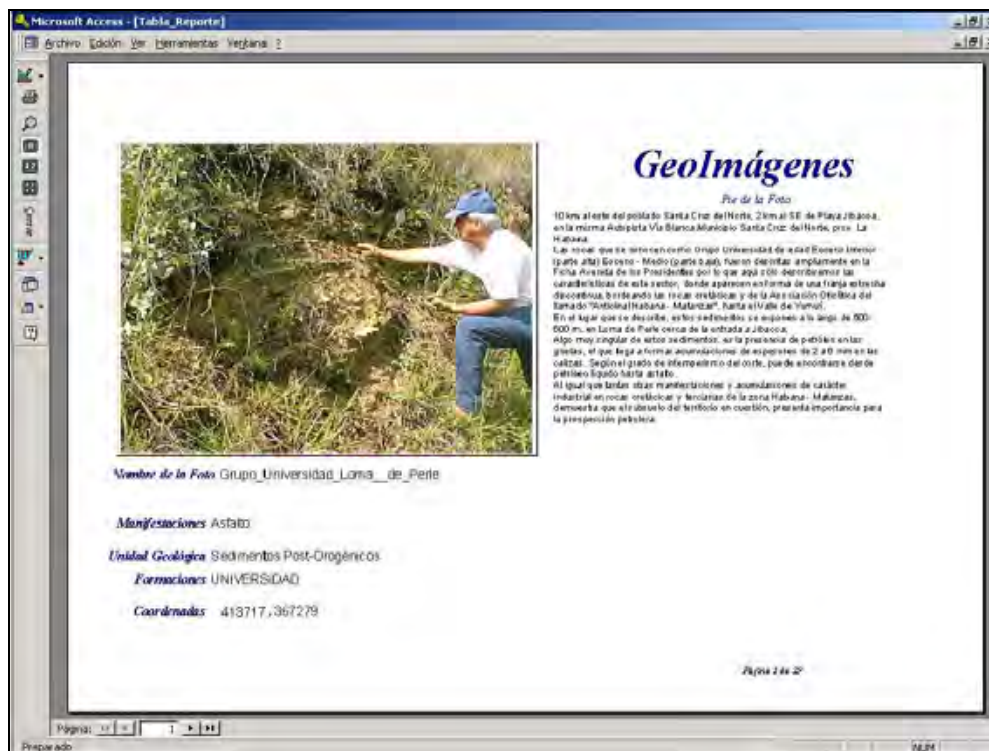


Figura 5. Ejemplo de Reporte que es el resultado de una consulta.



## **APROXIMACIONES AL DISEÑO DE UN CURSO DE ARQUEOGEOFÍSICA PARA ARQUEÓLOGOS**

Orlando R. Carraz Hernández

*Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Ave. 114 # 11901 entre 119 y 127. Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: [orlando@civil.cujae.edu.cu](mailto:orlando@civil.cujae.edu.cu)*

El auge en los últimos decenios de las aplicaciones de los métodos geofísicos a la arqueología – agrupadas en las Américas bajo el controvertido término de Arqueogeofísica – y los resultados mayoritariamente positivos obtenidos con estas, han despertado el interés de los arqueólogos en la geofísica, a tal punto de considerarse en la actualidad incompleta la formación curricular de un arqueólogo que no comprenda esta ciencia.

Sobre la base del análisis de la experiencia internacional y de las necesidades de los centros vinculados al trabajo arqueológico en nuestro país, surgen estas “aproximaciones” que no son más que pautas para el diseño de un curso para arqueólogos cuyo objetivo fundamental será el de proveerles del conocimiento necesario que les permita decidir si un levantamiento geofísico puede asistirle en su trabajo o no.



## **SUPERACIÓN POSTGRADUADA DE CUADROS EN LA ESFERA DE LA EXPLORACIÓN GEOFÍSICA PETROLERA DEL PAÍS**

Guillermo Miró Pagés <sup>(1)</sup>, Eulalio Sosa Fellové <sup>(2)</sup>

(1) Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", Calle 114 # 11901 entre 119 y 127, Cujae, Marianao 15, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: [gmiro@civil.cujae.edu.cu](mailto:gmiro@civil.cujae.edu.cu)

(2) Centro Politécnico del Petróleo, Avenida de los Mártires, Regla, Ciudad de La Habana

La prospección de hidrocarburos constituye una tarea de estratégica importancia en cualquier parte del mundo y en especial en nuestro país por la trascendencia que tiene para nosotros el contar con fuentes energéticas propias y seguras.

Actualmente, por ejemplo, estamos ante el reto de explorar nuestros acuatorios en la Zona Económica Exclusiva de Cuba en el Golfo de México, lo cual demanda ingentes esfuerzos para la formación y/o superación de los especialistas requeridos en diferentes ramas y en particular, en el campo de la Geología y la Geofísica.

Para el desarrollo de este esfuerzo, el País cuenta con un grupo de profesores del MES que tienen una amplia experiencia pedagógica en la formación de geólogos y geofísicos de pre y postgrado y con un colectivo de profesionales de CUPET con mucha experiencia en las investigaciones de la rama petrolera.

En el presente trabajo se muestran los resultados ya alcanzados en este sentido en la Mención Petrolera de la Maestría en Geofísica Aplicada y el trabajo preparatorio realizado para el diseño de la Especialidad de postgrado "Geofísica Petrolera" realizado en forma conjunta por el Departamento de Geociencias del ISPJAE y el Centro Politécnico del Petróleo de CUPET.



## **EDUCACION GEOMÁTICA EN LA FORMACIÓN ACADÉMICA DE LOS NUEVOS PROFESIONALES EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Dámaso R. Ponvert Delisles

*Universidad Agraria de La Habana, Autopista Nacional KM. 23<sup>1/2</sup> y Carretera de Tapaste, San José de Las Lajas, AP. 18 y 19 Provincia Habana, Telf.: (53 64) 6 4176 y 63610, C. Elect.:*

[dponvert@unah.edu.cu](mailto:dponvert@unah.edu.cu)

Por primera vez en la historia de la Educación Superior en Cuba, una Universidad introducirá en el Plan y Programa de estudio de pre-grado, la materia "Teledetección Espacial y Sistemas de Información Geográficos (SIG) en la Agricultura", dentro de la disciplina denominada Geomática Agrícola; cuyo objetivo fundamental será proporcionar el conocimiento necesario al nuevo profesional para que haga uso de estas tecnologías de avanzada y pueda ejercer la gestión agraria, con las herramientas geomáticas que demandan los momentos actuales. Como es conocido, la tendencia mundial actual de las universidades de perfil agropecuario, es incluir estos contenidos en la enseñanza de pre-grado por el impacto positivo que esto puede proporcionar en el ciclo "Enseñanza – Formación Profesional – Práctica social", que en nuestro país concretamente se aprecia estancado. Por esa razón se concibió y se desarrolla un Proyecto que incluyó en un primer momento, el diseño del Programa Curricular. Dicho programa, ha sido elaborado a partir de las recomendaciones dictadas por la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas para el uso pacífico del espacio ultraterrestre, (UNISPACE III), que hace un llamado a incrementar las acciones educacionales para la generalización de estas herramientas en los países en vías de desarrollo; así como en los principios y conceptos más recientes comprendidos en la educación geomática a escala internacional y en el *Education Curriculum* diseñado para los Centros Regionales de Educación en Ciencia y Tecnología Espaciales afiliados a las Naciones Unidas. En el trabajo se muestra la versión inicial del Programa Curricular, que fue presentado al *Workshop on Remote Sensing Applications and Education*, celebrado en Damasco, Siria en Julio de 2003 organizado por las Naciones Unidas.



## LA FORMACIÓN DOCTORAL EN CUBA EN LA RAMA GEÓLOGO-MINERA SEGÚN LAS NUEVAS REGULACIONES DE LA COMISIÓN NACIONAL DE GRADOS CIENTÍFICOS

**José Rodríguez Pérez,**

*Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Calle 114 #11901 /119 y 127, Cujae, Marianao 15, CP 19390 C. Elect: jrdguez@civil.cujae.edu.cu*

En el trabajo se analizan las características y requisitos del proceso de formación de los doctores en Ciencias Técnicas, Ciencias Geológicas y Ciencias Geofísicas que se ejecutan en base a resultados de investigaciones geólogo-minera de diferente orientación.

El autor luego de una reseña histórica del proceso de formación de doctores en estas ramas a lo largo de más de 25 años en las instituciones autorizadas del país, explica las modificaciones que han sido recientemente introducidas en este proceso trazando pautas para el aumento del número de especialistas que pueden alcanzar el grado de doctor, de determinada especialidad, de la rama geólogo-minera.

A lo largo del trabajo se especifica con detalle por el autor, entre otros los siguientes aspectos:

- Requisitos de ingreso al doctorado.
- Conocimientos que deben ser dominados por los aspirantes a doctor.
- Particularidades de los programas y temas de doctorado.
- Plan de trabajo de cada aspirante.
- Requisitos a cumplir antes de la defensa del doctorado.
- Exigencias que debe cumplir el material que se presenta a defensa.
- Particularidades del Tribunal de defensa de cada doctorado.
- Características del acto de defensa.

### **Abstract**

In the work, are analyzed, the characteristics and requirements of the process of the doctors' formation in Geological and Geophysical Sciences executed in the field of the geological and mining investigations in different branch of national economic.

The author after a historical review of the process of doctors' formation in these branches along more than 25 years in the authorized institutions of the country, explains the modifications that have been recently introduced in this process tracing rules for the increase of the number of specialists that can reach doctor's degree, of certain specialty, of the geologist-mining branch.

Along the work it is specified with detail among others the following aspects:

- Entrance requirements to the doctorate.
- Knowledge that should be dominated by the applicants to doctor.
- Particularities of the programs and doctorate topics.
- Plan of each applicant's work.
- Requirements to complete before the defense of the doctorate.
- Particularities of the Tribunal of defense of each doctorate.
- Characteristic of the defense act.

### **DESARROLLO**

#### ***Introducción.***

La defensa del grado de Doctor en Ciencias en las ramas de la Geología, Geofísica y Minería comenzó en Cuba a finales de la década de los años 70 y la misma se basó en la Ley No. 1281 del 2 de diciembre de 1974, que estableció el Sistema Nacional de Grados Científicos y creó la Comisión Nacional de Grados Científicos (CNGC). La primera defensa fue realizada en el Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa en 1978. En esa oportunidad fue constituido un tribunal formado por especialistas de alto nivel del Instituto de Minas de San Petersburgo que





viajaron a Moa con ese objetivo. Ese colectivo apoyado por el único doctor que en la rama existía en Cuba en ese momento constituyeron el Tribunal y los oponentes habiéndose defendido en esa oportunidad 4 aspirantes los que habían realizado sus trabajos entre Cuba y la ex URSS con la tutoría de especialistas del citado Instituto de Minas de San Petersburgo.

Posteriormente, en 1986 comenzaron a defenderse doctorados en Geofísica y en Geología en el Departamento de Geofísica del Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (Cujae) donde periódicamente se constituyeron tribunales ad hoc, integrados por 5 miembros y dos oponentes, ante los cuales se fueron defendiendo diferentes aspirantes. Al mismo tiempo en otros centros del país (UO, ISMM, IGP, etc.) también se constituyeron tribunales, con los que defendieron el doctorado diferentes especialistas de la rama.

En la actualidad, la formación de los doctores está normada según el Decreto Ley No. 1281 del 8 de mayo de 1992 sobre el Sistema Nacional de Grados Científicos el que en sus artículos 1 y 2 establece lo siguiente:

**Artículo 1.-** El Sistema Nacional de Grados Científicos tiene como objetivo el de formar y desarrollar, a partir de los graduados universitarios, los cuadros científicos al más alto nivel del desarrollo de cada rama de actividad, de acuerdo con las necesidades presentes y futuras de nuestro país.

La Comisión Nacional de Grados Científicos (CNGC) que estará adscrita directamente al Consejo de Ministros, es el órgano estatal que encabeza el Sistema Nacional de Grados Científicos.

**Artículo 2.-** El grado científico de doctor en ciencias de determinada especialidad se otorgará a los graduados del nivel universitario que contribuyan significativamente al desarrollo de su especialidad y satisfagan a plenitud los requisitos y las evaluaciones correspondientes a los programas que se establezcan, dentro de un proceso que culminará con la defensa ante el tribunal competente de una tesis donde se ponga de manifiesto un determinado grado de madurez científica, su capacidad de enfrentar y resolver problemas científicos de manera independiente, se demuestre un profundo dominio teórico y práctico en el campo del conocimiento de que se trate, y que contenga la exposición del resultado alcanzado por el graduado universitario en su especialidad, que podrá consistir en la propuesta de solución o solución de un problema teórico o práctico de ella o en una contribución científica de otro tipo.

También en el Reglamento de la Educación de Posgrado de la República de Cuba (1996) se especifica en su Artículo 45 que: El doctorado es el proceso de formación posgraduada que proporciona a los graduados universitarios un conocimiento profundo y amplio en un campo del saber; así como madurez científica, capacidad de innovación, creatividad para resolver y dirigir la solución de problemas de carácter científico de manera independiente y que permite obtener un grado científico.

Entre 1996 y el 2003 existieron dos tribunales permanentes para la defensa de los trabajos de doctorado en la rama geólogo-minera. Uno de ellos subordinado a la Sección de Ciencias Técnicas, donde era posible defender trabajos de minería, geología y geofísica en los que el énfasis fundamental estuviese en la dirección de las Ciencias Técnicas. El otro Tribunal Permanente, subordinado a la Sección de Ciencias Naturales donde era posible defender doctorados de geología y geofísica en los que hubiese una gran componente de investigación básica o general en cualquiera de estas ciencias.

A partir del 2004 y en base a la Resolución 09/03 de la CNGC, para la defensa de los doctorados, concluidos en geología o geofísica, la Comisión Nacional de Grados Científicos (CNGC) sólo cuenta con un tribunal; habilitado este para atender el proceso de defensa de doctorados que correspondan tanto a la Sección de Ciencias Naturales así como a la Sección de Ciencias Técnicas. Es decir de aspirantes que estén optando, dadas las características de sus trabajos, bien por el Título de Doctor en Ciencias Técnicas o el de Doctor en Ciencias Naturales. Para la defensa de los doctorados referidos a la minería, serán creados Tribunales de Tesis, designados para cada tesis específica por resolución de la CNGC.



El Tribunal Permanente de Geología y Geofísica está integrado por 30 especialistas de reconocido prestigio, todos ellos poseedores del grado de doctor y con una valiosa trayectoria profesional. El mismo está dirigido por un presidente, 4 vicepresidentes y un secretario. Para cada una de las defensas que se programe por este Tribunal se constituirá un Tribunal Específico el que estará conformado por siete miembros y dos oponentes. Estos se seleccionarán entre los miembros del Tribunal Permanente y por miembros de otros Tribunales Permanentes que sean afines al tema de defensa (Geografía, Geodesia, etc). Además en cada Tribunal Específico uno de los especialistas invitados puede no ser miembro de algún tribunal permanente. Por lo menos 5 de los miembros del Tribunal Específico deberán ser miembros del Tribunal Permanente. Cada tribunal específico estará presidido por el presidente o uno de los vicepresidentes. El secretario se designará de entre los demás miembros del Tribunal Específico.

Antes de ingresar en la aspirantura, el candidato, a través de su centro de trabajo y organismo debe presentar ante el CITMA la propuesta del tema de investigación que espera desarrollar y/o defender ante el Tribunal autorizado de la CNGC.

Una vez cumplido dicho requisito el aspirante podrá ingresar en cualquiera de las instituciones autorizadas en el país a desarrollar doctorados en las ramas de la geología, la geofísica y la minería.

Algunas de esas instituciones autorizadas son:

- ✓ Instituto Superior Minero Metalúrgico "Antonio Núñez Jiménez" de Moa (ISMMANJ).
- ✓ Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (Cujae).
- ✓ Universidad de Pinar del Río (UPR).
- ✓ Universidad de Oriente (UO).
- ✓ Instituto de Geología y Paleontología (IGP).
- ✓ Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA).
- ✓ Centro de Investigaciones del Petróleo (CEINPET).

Es de significar que desde 1978 a la fecha, más de 50 aspirantes han defendido en Cuba, sus trabajos de doctorado y en 6 años transcurridos desde la creación de los Tribunales Permanentes, más de tres decenas de aspirantes han presentado sus trabajos de doctorado los cuales han abarcado un amplio espectro de las geociencias. El año en que más profesionales defendieron su doctorado lo fue 1998. En ese año defendieron exitosamente sus trabajos 12 prestigiosos profesionales del país su Grado de Doctor en Ciencias (naturales o técnicas). En este sistema de Tribunales Especializados el primer aspirante que defendió lo fue en 1998, la Dra. C. Rosa María Valcarce Ortega de la Cujae, el último en defender, en diciembre del 2004 lo fue el Dr. C. Alberto Ramón Vila Sánchez del ISMMANJ.

El ingreso al doctorado de acuerdo a la edad y posibilidades del interesado se puede realizar de acuerdo a los reglamentos de la CNGC en algunas de las siguientes modalidades.

- **Tiempo completo.**  
Exige permanencia en la institución autorizada durante toda su realización y tiene un tiempo máximo establecido para su terminación de tres años. Para los nacionales se exige tener una edad inferior a los 35 años de edad.
- **Tiempo parcial.**  
En este caso además de realizarse el doctorado el aspirante trabaja en su empresa o país y viaja a la institución autorizada en las fechas acordadas con el tutor. El tiempo máximo establecido para su terminación, es de cuatro años.
- **Modalidad libre.**  
Se destina a profesionales que habiendo obtenido resultados importantes desde el punto de vista científico-técnico puedan elaborar una tesis como producto de su trabajo investigativo a lo largo de su vida profesional, dicha tesis se desarrollará de forma



independiente o bajo la dirección de un tutor. El aspirante deberá acreditar su sólida formación mediante la realización de los exámenes de mínimo correspondientes para luego defender su trabajo ante un tribunal.

En todos los casos, incluidos los de los extranjeros, los temas de tesis serán analizados por la Comisión de Grados Científicos de la Institución autorizada, la que deberá garantizar su actualidad y trascendencia y la existencia de condiciones para su desarrollo en los plazos que se señalan, su aseguramiento en el orden material y su dirección científica.

A partir del 2003 se han establecido en Cuba tres tipos de programas o vías para la obtención de grados científicos o doctorados:

- Programa tutorial
- Programa curricular
- Programa de doctorado

#### **Programa tutorial:**

En el programa o vía tutorial la formación del aspirante y su preparación para los exámenes de candidato se realizan bajo la orientación del tutor; sobre la base del programa individual aprobado por la comisión de grados científicos de la institución, cuyo desarrollo es supervisado por el Departamento de Posgrado u órgano equivalente.

#### **Programa curricular:**

El doctorado curricular se establece como una vía alternativa para alcanzar el referido nivel en Cuba. Este programa se diferencia del tutorial en la forma de cumplir los requisitos de exámenes de candidato. Consiste en un sistema en el cual se exige el cumplimiento curricular de un determinado número de cursos que deberán realizar los aspirantes, los cuales varían en dependencia de la especialidad en cuestión.

#### **Programa de doctorado**

Es según la Resolución 04/03 de la CNGC un proceso de formación científica que se estructura en un sistema de influencias planificadas de carácter científico, docente, metodológico y educativo que tienen a la investigación científica como centro de la formación del aspirante y contempla la participación en cursos, seminarios, talleres de tesis, realización de exámenes, trabajo en grupos y en redes, participación en eventos, publicaciones y otras. En el Programa el aspirante trabaja bajo la dirección de un tutor y en vínculo con otros especialistas y participantes del programa. El Programa incluye el sistema de evaluación del aspirante y culmina, al igual que en las variantes anteriores, con la presentación y defensa de la tesis ante el Tribunal Permanente.

#### **REQUISITOS DE ADMISIÓN.**

Los aspirantes serán autorizados a cursar el programa de obtención del grado científico de doctor en ciencias de determinada especialidad cuando cumpla los requisitos establecidos, los que son iguales para cualquier rama de las ciencias.

Cada institución y de acuerdo con los reglamentos puede tener variaciones en los requisitos de ingreso a las diferentes modalidades aprobadas para la realización de los doctorados en esa institución. Por ejemplo en el Departamento de Geociencias de la Cujae, existen los siguientes requisitos para el ingreso a su programa de doctorado:

1. Solicitar mediante una carta el ingreso al programa de doctorado al Jefe del Departamento de Geociencias.
2. Presentar una exposición ante el Comité de Doctorado y el Colectivo del Departamento sobre su temática de interés, posible tema y proyecto de plan de doctorado.
3. Efectuar, caso de ser necesario, el examen de ingreso al doctorado.



4. Presentar, asesorado por su tutor, ante el Consejo Científico de la Facultad y la Comisión de Grado de la Cujae la fundamentación de su tema de aspirantura.
5. Entregar al Departamento de Posgrado los documentos necesarios a fin de conseguir su ingreso.
6. En caso a seguir la vía curricular para vencer el examen de mínimo de la especialidad, seleccionar conjuntamente con su tutor el conjunto de asignaturas de que constará su preparación teórica.
7. Confeccionar con el tutor y obtener la aprobación del Comité Académico del Doctorado, el Plan de Trabajo, general y por etapas.
8. Incorporarse a trabajos sistemáticamente en algún grupo de investigación del Departamento y/o de la Facultad.
9. Cumplir satisfactoriamente los chequeos períodos que se establezcan.
10. Tener producción científica, por lo menos acorde con los requisitos establecidos para obtener el grado científico de doctor: publicar por lo menos dos artículos en revistas referenciadas y presentar dos trabajos en eventos de relevancia sobre el tema de la tesis durante el período de ejecución del trabajo.
11. Realizar los exámenes de Idioma Extranjero y de Ciencias Sociales.
12. Entregar toda la documentación adicional que se exija pre o posterior al acto de predefensa y defensa de la tesis.
13. Pasar satisfactoriamente la predefensa y defensa de la tesis de acuerdo a los requisitos establecidos.

En todos los casos, el solicitante debe presentar un expediente que contenga la documentación siguiente:

- Fotocopia del título de nivel superior (legalizado).
- Curriculum vitae.
- Datos personales.
- Nombres y apellidos.
- Fecha y lugar de nacimiento.
- Ciudadanía.
- Centro de estudios de nivel superior del que es egresado.
- Especialidad de que es graduado y año de graduación.
- Dirección particular.
- Centro de trabajo y cargo que ocupa.
- Número de pasaporte.
- Dos fotos.
- Resumen del tema propuesto.
- Tema de doctorado aprobado por el CITMA (no es requisito para los extranjeros).

En el caso de que el solicitante sea extranjero, el mismo expondrá el tema en el Consejo Científico de la Facultad o Centro. Una vez aprobado será presentado ante la Comisión de Grados Científicos de la Institución por el solicitante y el tutor (si procede).

Aprobando el ingreso en esa instancia se oficializará como aspirante y se elaborará el plan de trabajo conjuntamente con el tutor y el Jefe del Departamento o Centro de Investigación correspondiente a la temática en cuestión.



El aspirante defenderá ante el tribunal que se establezca, un trabajo escrito o realizará un examen oral donde demuestre el dominio del contenido fundamental del programa "Problemas sociales de la Ciencia" y su capacidad de aplicarlo a la especialidad donde se desarrolla su tema de tesis.

Los exámenes de mínimo sólo podrán realizarse en las instituciones autorizadas por la Comisión Nacional de Grados Científicos y tendrán una validez de cinco años.

### **REQUISITOS DE LA TESIS.**

La tesis será el documento donde se expondrán los resultados del trabajo de investigación desarrollado por el aspirante. Su evaluación deberá tener en cuenta, principalmente, los resultados obtenidos. Los resultados alcanzados estarán en concordancia con los objetivos iniciales del trabajo y deberán contribuir a resolver algún problema, teórico o práctico o representar un aporte a la rama de las geociencias correspondiente. En cualquier caso, los resultados deberán poseer actualidad, novedad y valor científico. Además la tesis presentada para la obtención del grado científico deberá demostrar un dominio profundo, teórico y práctico en el campo del conocimiento de que se trate y contribuir a su desarrollo.

El aspirante deberá antes o durante el proceso de su formación como doctor tener una producción científica destacada. La CNGC establece como requisito necesario e imprescindible que el aspirante a doctor posea, sobre el tema de la tesis, por lo menos dos artículos publicados o aprobados para su publicación, en revistas científicas de reconocido prestigio internacional. Además haber presentado los resultados del trabajo de la tesis en por lo menos dos eventos de prestigio nacionales o internacionales.

La tesis que no deberá contar con más de 120 cuartillas, excluidas las tablas y anexos, deberá estar redactada de acuerdo a las normas dictadas al efecto por la CNGC.

Una vez concluida la tesis el aspirante la deberá presentar ante una sesión científica de su Departamento de Investigación o Departamento Docente de la Institución autorizada previo estudio por dos oponentes con grado de doctor designados por el Jefe del Departamento en el cual se realizará la defensa.

Luego de corregidas las deficiencias detectadas por los oponentes y el colectivo científico del Departamento donde el aspirante ejecuta su doctorado, la Institución autorizada a través de su Comisión de Grado remitirá la tesis y el expediente del aspirante con todos los requisitos cumplidos, al Tribunal autorizado por la CNGC para la defensa de las tesis de doctorado en las ramas de la geología, la geofísica y la minería. Estos tribunales radican en el ISPJAE funcionando como regla dos veces al año a mediados y final de cada año lectivo. Una vez defendido, con resultados positivos, el trabajo, el expediente del aspirante es enviado a la CNGC, donde luego de revisado todo el proceso, se emite el título correspondiente.

### **LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS PARA EL INGRESO EN EL PROGRAMA POR MODALIDAD LIBRE SON:**

- Poseer un título de graduado universitario en la rama geólogo-geofísica o en otra pero que se esté desarrollando investigaciones con resultados concretos en cualquiera de las esferas de acción de la Ingeniería Geofísica. Los títulos otorgados por instituciones extranjeras deberán estar debidamente legalizados.
- Carta de aprobación del jefe de la institución en que labora el aspirante en la que se autorice la defensa de sus resultados de investigación.
- Aprobación del tema de la tesis y/o el Comité de Doctorado, el Departamento, el Consejo Científico de la Facultad y la CGC de la Cujae.



- Aprobación del tema de investigación por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Se exime de este requisito a los aspirantes extranjeros. Su tema sólo requiere de aprobación por parte de la Comisión de Grado de la Cujae.
- Curriculum vitae del aspirante.
- Aval de dos profesionales de reconocido prestigio en la especialidad, preferentemente con grado científico, sobre el alcance y contenido del material que se pretende defender.
- En el caso de extranjeros no residentes en Cuba, abonar la cuota establecida para la colegiatura.

**LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS PARA EL INGRESO EN EL PROGRAMA POR LA MODALIDAD A TIEMPO PARCIAL Y DE TIEMPO COMPLETO SON:**

- Tener menos de 35 años de edad (para cubanos y extranjeros residentes en Cuba ). Los casos excepcionales serán autorizados por el Pleno de la Comisión Nacional de Grados Científicos.
- Título de graduado de la Educación Superior o certificación oficial que acredite la posesión de este nivel.
- Carta de aprobación del jefe de la institución donde labore el aspirante, en la que se manifieste el compromiso de la misma de facilitar el cumplimiento de las actividades del plan del aspirante.
- Aprobación del tema de la tesis por el Comité de Doctorado, el Departamento, el Consejo Científico de la Facultad y por parte del Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba.
- Curriculum vitae del aspirante.
- Aprobar un examen de ingreso de las materias fundamentales para la especialidad de forma escrita y/o oral, correspondiente al nivel de conocimientos equivalentes al plan de estudios de pregrado.
- Después de aprobado el ingreso el aspirante y el tutor harán una exposición oral ante el Consejo Científico de la Facultad y posteriormente ante la CGC de la Cujae.
- En el caso de extranjeros no residentes en Cuba, abonar la cuota establecida para la colegiatura.

**REQUISITOS DE EXÁMENES PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE DOCTOR.**

Para tener derecho a la defensa de una tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geofísicas, Geológicas o Técnicas, el aspirante deberá rendir satisfactoriamente los siguientes exámenes:





### **1. Idioma extranjero.**

Para los aspirantes cubanos o de otros países en los que el idioma oficial sea el español, se considerará idioma extranjero a otro diferente de este, de reconocida importancia internacionalmente en el campo científico-técnico, entre los que se aceptan: inglés, alemán, francés, y ruso.

El conocimiento y habilidades prácticas del idioma extranjero se demostrará mediante la aprobación de un examen que rendirá el aspirante ante un departamento de idiomas autorizado para ello por la CNGC.

### **2. Problemas sociales de la ciencia y la tecnología.**

El aspirante debe aprobar un examen de problemas sociales de la ciencia y la tecnología donde demuestre dominio del contenido fundamental del programa "Problemas Sociales de la Ciencia" y su capacidad de aplicarlos a la especialidad donde se desarrolle su tema de tesis.

### **3. Especialidad.**

El aspirante deberá poseer sólida formación en su especialidad en el concepto de su perfil amplio y no sólo en los aspectos relacionados directamente con el tema de su tesis, para ello deberá aprobar con 4 ó 5 puntos el examen de la especialidad. En el mismo deberá demostrar:

Conocimientos de temas relacionados de las ciencias básicas de la geología y/o de la geofísica.

Conocimientos de otras materias vinculadas con la especialidad o grupos de especialidades de la tesis

Este examen tiene como alternativa que el aspirante curse y apruebe, ante tribunales habilitados al efecto, el conjunto de asignaturas que el tutor y/o el Comité de Doctorado estimen apropiadas.

Los exámenes de mínimo sólo podrán realizarse en las instituciones autorizadas por la Comisión Nacional de Grados Científicos y tendrán una validez de cinco años.

En el caso de doctorados que se estén haciendo a través de un programa de doctorado, como regla el examen de especialidad es sustituido por la aprobación de un conjunto de asignaturas que son contempladas con tal fin en el Programa de Doctorado.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Normas y resoluciones vigentes para el desarrollo de los grados científicos en la Republica de Cuba, 2004, CNGC. c. La Habana
2. Pérez J, Miro G, 2000 "Preparación y superación de ingenieros geofísicos: breve historia, estado actual y perspectivas futuras", I Congreso de Geofísica, c. La Habana.
3. Procedimiento para el diseño y la Gestión de las Especialidades de Postgrado, 2000 Ministerio de Educación Superior de Cuba, c. La Habana.
4. Reglamento de la Educación de Postgrado de la Republica de Cuba, 1996, Ministerio de Educación Superior de Cuba, c La Habana.
5. Rodríguez J, 2002 "Formación de doctores en Cuba en las ramas de la Geología, la Geofísica y la Minería", Trabajos del Congreso de Geofísica, c. La Habana.



## **GEOFÍSICA PETROLERA: HACIA UNA PLATAFORMA ACTIVA**

Ramón Ariel Quesada García, Ramón González Caraballo, Guillermo Miró Pagés

*Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Calle 114 #11901 /119 y 127, Cujae, Marianao 15, C. Elect: [arielq@tesla.cujae.edu.cu](mailto:arielq@tesla.cujae.edu.cu)*

La especialidad de posgrado: “Geofísica Petrolera”, contempla entre sus objetivos: el diseño curricular basado en el empleo de una plataforma activa de aprendizaje, que incluye: el uso de casos, conferencias interactivas, prácticas, defensa de informes, etc., conformándose con estas componentes, un proyecto pedagógicamente innovador, con evidentes ventajas competitivas en el contexto latinoamericano.

El desarrollo de este proyecto, ha implicado un significativo esfuerzo del claustro, integrado por profesores y especialistas del Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría” y las Direcciones del Ministerio de la Industria Básica de Cuba, vinculadas con la prospección y explotación petrolera, que ha recibido la preparación metodológica necesaria para reflejar el carácter activo en los correspondientes diseños de asignaturas, así como los cambios en la relación alumno-profesor, que exige este tipo de plataforma.

La ponencia presenta las principales transformaciones llevadas a cabo en el proyecto de la especialidad y analiza con detalle, a modo de ejemplo, el reflejo de esas transformaciones “hacia una plataforma activa”, en dos asignaturas ubicadas en el primer ciclo: Introducción a la Geofísica y Adquisición Sísmica, donde se destacan algunos indicadores que enfatizan el carácter activo del proyecto, tales como: % de participación de los aprendices (ingenieros geólogos en su mayoría), diseño de casos de diferente nivel de complejidad, trabajo grupal de los aprendices, etc. Todo lo anterior, enfocado hacia el objetivo de alcanzar el “aprendizaje significativo”.



## CONTENIDOS GEOTÉCNICOS EN EL DISEÑO CURRICULAR DE UN GEÓLOGO DE PERFIL AMPLIO.

**Julio Cabrera Bermúdez<sup>(1)</sup>, E. María Cruz Gámez<sup>(1)</sup>**

**(1)** Universidad de Pinar del Río, Calle Martí # 270, CP. 20100 . Cuba.

### RESUMEN

Debido a las crecientes incumbencias del geólogo en la rama de la construcción y ambiental, desde hace varios años se le ha venido dando mucha importancia al tratamiento metodológico de la dimensión geotécnica en el diseño de su carrera. En el trabajo se analizan las vertientes que reflejan el tratamiento didáctico de los contenidos geotécnicos con énfasis en lo curricular y en el trabajo científico estudiantil. Se muestran las oportunidades que tiene el profesorado para que con un trabajo metodológico adecuado transforme y adecue el conocimiento geotécnico a la esfera de actuación de este geólogo de perfil amplio. En el plano curricular durante los primeros años de la carrera, para este profesional, los contenidos geotécnicos se introducen en asignaturas tales como Física, Química, Geología general, Mineralogía e Hidrogeología, orientado sobre todo al conocimiento de las propiedades físicas de los minerales, suelos y rocas. A medida que avanza el cohorte ya aparecen asignaturas como Laboreo minero, Mecánica de suelos y rocas e Ingeniería geológica, culminando con una práctica integradora de seis semanas de duración. En el plano científico estudiantil se logra principalmente en los últimos años, a partir de la realización de trabajos temáticos y de culminación de la carrera.

### ABSTRACT

Geologists are every time concern about construction and environment issues as problems arise, frequently, from the relationship construction-environment. Great attention has been focused on the methodology of geotechnia in the design of a career. This paper analyzes several kinds of didactic treatment in geotechnia with emphasis in the curricular and student work, besides, it clearly shows how the staff may achieve and pass the professional view of a career. In geology, topics on geotechnia are included in the first years combined with Physics, chemistry, general geology, hidrogeology and mineralogy. This is the case of a geology engineer.

The geotechnia topics will be important to understand the physical properties of minerals rocks and soils. Finally, others topics arise to the last years: soil mechanic and geological engineering. All of them are integrated in a combine theoretical- fieldwork workshop, lasting for five weeks.

The real integration will be achieved, them, to the final years of the career by an integrated thematic-theoretical framework.

### Introducción

La carrera de Geología comienza a estudiarse en la Universidad de La Habana de forma independiente en 1962, a pesar que desde 1826 ya existía un departamento de mineralogía y geología, pero que nunca graduó especialistas en la rama. En una primera etapa la carrera de Geología formó licenciados, caracterizados por recibir el volumen de disciplinas con una duración de cuatro años, se obtenía así un geólogo orientado básicamente a los trabajos de búsqueda y exploración de yacimientos minerales sólidos y a la cartografía geológica regional.

En 1963 se inicia la formación de Ingenieros Geólogos en la Universidad de Oriente con un incremento del volumen de horas dedicadas a las ciencias básicas. Posteriormente, aumentan



las disciplinas y asignaturas dedicadas a la geología y se introduce el sistema de docencia-producción, con perfil terminal amplio.

En 1973 se inicia la formación de Ingenieros Geólogos en la Filial Universitaria de Minas de Matahambre, con el mismo plan de estudio que el de la Escuela de Geología de la Universidad de Oriente.

En 1976 se crea el Ministerio de Educación Superior (MES) y se inicia el **Plan de estudio A**, los que mantienen aspectos similares a los anteriores planes, pero caracterizado por un incremento de asignaturas de especialización en las esferas laborales del Ingeniero Geólogo. Precisamente con este plan comienza la introducción de contenidos relacionados con la geotécnica, planteándose un perfil terminal en los últimos años de la carrera hacia la geología aplicada a la construcción, bajo la denominación de ingeniería geológica. Al mismo tiempo de crearse el MES, se funda el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y la Facultad de Geología y Geofísica.

Se mantiene el desarrollo del plan A en la Filial de Minas de Matahambre hasta que en 1982 se decide unir en un solo centro la enseñanza de las ciencias geológicas y geofísicas.

En 1985 por solicitud del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS), fundamentado en las necesidades de incrementar la cantidad de graduados en geología, el MES aprueba la formación de Ingenieros Geólogos en la Facultad de Tecnología de la Universidad de Pinar del Río (UPR).

En 1981 se inicia la impartición de los planes de estudio B, con el criterio de la formación de un geólogo general. Este plan con mejor estructura mantenía algunas deficiencias tales como:

- Existencia de un ciclo básico que no respondía en todos los contenidos a las necesidades de la carrera.
- Predominio de la enseñanza teórica en las disciplinas y asignaturas de la carrera.
- Insuficiencias en el modelo del especialista al no precisar las tareas que debe ser capaz de enfrentar el geólogo para dar solución a los problemas profesionales mas generales del sistema laboral de la profesión.
- Insuficiente comprensión de los objetivos como categoría rectora del proceso docente en cada uno de los niveles en que éste se desarrolla.
- Insuficiente fondo de tiempo para la ejecución de las prácticas docentes y de producción.
- Deficiencias en los programas analíticos los cuales no garantizaban siempre la consecutividad de los conocimientos.

En este plan se incrementan los contenidos geotécnicos dados en diferentes asignaturas (Mecánica de suelos. Ingeniería geológica I y II, Equipos de ensayos, Hidrogeología general, Dinámica de las aguas subterráneas y Análisis químico de las aguas subterráneas), además contemplaba una práctica vinculada a distintas empresas afines a la construcción. Todo motivado a la creación de especialidades dentro de la carrera de geología: Ingeniería geológica e Hidrogeología y Yacimientos minerales.

La aplicación del plan de estudio C en la presente década, fortaleció la formación de un profesional de perfil amplio y con una mayor preparación en los conocimientos y habilidades de geofísica en relación a los anteriores planes de estudio, además hay una disminución de los



contenidos geotécnicos. El plan de estudio C se desarrolla en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y en la Universidad de Pinar del Río.

El actual proceso de perfeccionamiento iniciado en el curso 96-97 ha conllevado un estudio minucioso de las disciplinas y asignaturas que lo integran. Con respecto a los contenidos geotécnicos en la UPR se ha realizado un trabajo metodológico a nivel de carrera con la finalidad de velar por la dimensión geotécnica en función de lograr un profesional útil a la rama de la construcción. En el trabajo se abordan aspectos relacionados con los resultados obtenidos en este sentido.

## **Materiales y métodos**

### **Estructura del curriculum para un geólogo de perfil amplio en el MES de Cuba.**

El plan de estudio perfeccionado de la carrera de Geología fue elaborado por el colectivo de profesores de los Departamentos de Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y de la Universidad de Pinar del Río, y la participación de especialistas del MINBAS a través de la Oficina Nacional de Recursos Minerales y los miembros de la Comisión Nacional de la Carrera de Geología (Plan C perfeccionado, 1998). Esta Comisión Nacional analizó y definió las siguientes esferas fundamentales de trabajo para un geólogo de perfil amplio.

- Yacimientos Minerales Sólidos.
- Yacimientos de Petróleo y Gas.
- Bases de las Obras Ingenieriles.
- Hidrogeología.

Los componentes principales del plan de estudio son:

**Problema:** *Necesidad de la prospección, exploración y explotación de los recursos del medio geológico.* De este se derivan los siguientes contenidos.

1. Naturaleza de los materiales que forman la corteza terrestre.
2. Distribución, datación, caracterización e interpretación de las secuencias estratigráficas.
3. Distribución y caracterización de los complejos magmáticos y metamórficos.
4. Caracterización y evolución de las estructuras geológicas.
5. Formas del relieve y su génesis.
6. Distribución, migración y forma de existencia de los elementos químicos en la corteza terrestre.
7. Prospección, exploración y control de la explotación racional de los yacimientos minerales sólidos.
8. Prospección, exploración y explotación de yacimientos de petróleo y gas.
9. Evaluación ingeniero geológica de suelos y rocas.
10. Prospección, exploración y explotación de los recursos hídricos.
11. Evaluación del comportamiento de los campos físicos en el medio geológico.
12. Evaluación geólogo económica y tecnológica de los recursos minerales, hídricos y energéticos.
13. Protección y conservación del medio ambiente.

De ellos como se observa los números 1, 5, 9, 10, 11, 12 y 13 están estrechamente vinculados a la esfera geotécnica.



**Objeto:** Los recursos de la corteza terrestre.

**Objetivos instructivos:** *“Ejecutar los trabajos geológicos considerando su evaluación económica y ambiental, con la finalidad de lograr una explotación racional del medio geológico en correspondencia con un desarrollo sustentable”. Del mismo se derivan:*

- Utilizar las metodologías de proyección de los trabajos de prospección y exploración geológica participando en la elaboración de proyectos para solucionar eficazmente los trabajos geológicos.
- Ejecutar investigaciones geológicas.
- Procesar la información obtenida durante los trabajos de campo y de laboratorio aplicando las técnicas mas modernas de procesamiento de datos, incluyendo la utilización de software.
- Utilizar la información científico - técnica en resolución de trabajos geológicos.
- Aplicar las técnicas de dirección, en la ejecución de los trabajos geológicos.
- Identificar y describir los tipos principales de rocas, fósiles, minerales, menas y sus alteraciones.
- Interpretar la información de cartas topográficas, fotos aéreas y cósmicas en la ejecución de investigaciones y trabajos geológicos.
- Manipular equipos geológicos y geofísicos a partir del conocimiento de los principios básicos de medición.
- Ejecutar las medidas de protección del entorno geológico durante la ejecución de los trabajos geológicos.
- Ejecutar las técnicas de seguridad y medidas de protección e higiene del trabajo.
- Identificar, describir y evaluar los distintos procesos y fenómenos geológicos de la corteza terrestre.
- Evaluar la gestión económica y ambientales de los trabajos geológicos aplicando las principales técnicas de dirección.

**Objetivos por años de estudio:** Se definieron los objetivos por año de estudio, enunciándose un objetivo principal por cada uno:

**Primer Año:** Caracterizar los procesos y fenómenos geológicos.

**Segundo Año:** Identificar procesos y fenómenos geológicos.

**Tercer Año:** Explicar procesos y fenómenos geológicos a partir de la elaboración e interpretación geológica – geofísica.

**Cuarto y Quinto Año:** Ejecutar los trabajos geológicos considerando su evaluación económica y ambiental, con la finalidad de lograr una explotación racional del medio geológico en correspondencia con un desarrollo sustentable.

El Plan de Estudio C perfeccionado de la carrera de Geología está integrado por nueve disciplinas (tabla I), de ellas tres de formación general, dos básicas, tres básicas específicas y una de ejercicio de la profesión:





**Tabla I.** Disciplinas que integran el Plan de Estudio C perfeccionado de la carrera de Geología.

DISCIPLINAS	
Formación General	Marxismo-Leninismo
	Educación Física
	Preparación para la Defensa
Básica	Idioma
	Procesamiento de la Información Geólogo Geofísica
Básica específica	Geoquímica
	Geofísica
	Geodinámica
Ejercicio de la profesión	Geología Aplicada

Como se observa en las figuras 1 y 2 existe un predominio en la mayoría de estas disciplinas de la componente laboral investigativa sobre la académica.

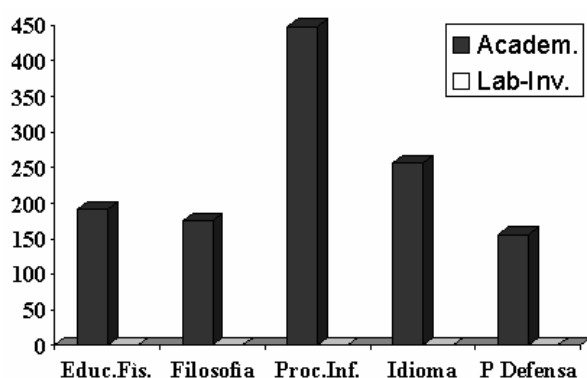


Figura 1. Distribución de hora de la componente laboral investigativa y académica. en las disciplinas básicas

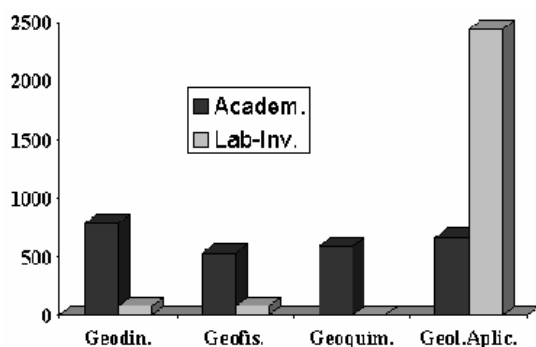


Figura 2. Distribución de horas de las componentes laboral investigativa y académica en las disciplinas básicas específicas y de ejercicio de la profesión.



Este Plan de Estudio C perfeccionado contempla además:

**Proyectos de cursos:** Comprende un total de seis proyectos, los que se ubican desde primero a quinto año. En el primer semestre de cuarto año se desarrolla el proyecto para la realización de la componente laboral de Geología e Hidrogeología Aplicada.

**Prácticas docentes de levantamiento geológico:** Las prácticas docentes de Levantamiento Geológico(I, II y III) se ejecutan desde el primer año hasta el tercero, tienen como objetivo fundamental el desarrollo de los contenidos y habilidades que permitan al futuro egresado proyectar y ejecutar una de las principales actividades profesionales: el Levantamiento Geológico o Cartografía Geológica.

**Componente laboral:** Se desarrolla en cuarto y quinto años. En cuarto año se llevarán a cabo las componentes laborales de Geología e Hidrogeología Aplicada y Yacimientos minerales y en quinto año la de Yacimiento gasopetrolífero. La experiencia obtenida en las mismas, en la cual se vincula a la solución de problemas concretos de la producción durante la práctica laboral o investigativa, demuestra que es la vía acertada no solo para consolidar los conocimientos y habilidades del futuro profesional sino además para estrechar los nexos entre los profesores y los profesionales del sector productivo del servicio geológico nacional.

**Trabajo de diploma:** Para el trabajo de diploma se asignan un total de 800 horas, el equivalente de 20 semanas, constituye además la evaluación final e integradora del estudiante. Aquí el estudiante ejecuta un proyecto de investigación vinculado a una de sus esferas de actuación

**Excursiones geológicas:** Se planifican y ejecutan, los fines de semanas, excursiones geológicas como complemento y consolidación de los contenidos de las diferentes disciplinas y asignaturas, incluye visitas a obras ingenieras en investigación y construcción.

## Resultados y Discusión

### Contenidos geotécnicos en el curriculum.

Estos contenidos son tratados a través de relaciones verticales y horizontales desde el mismo primer año hasta quinto. Los primeros se dan con mayor o menor profundidad en asignaturas precedentes, los mayores vínculos se dan en el tercer y cuarto año de la carrera como se observa en la figura 3.

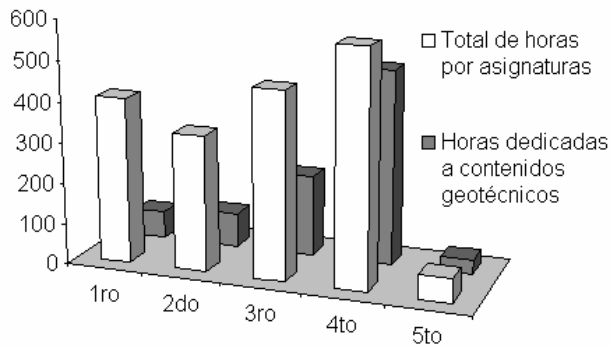


Figura 3. Componente geotécnica por año académico en el curriculum.

Los contenidos geotécnicos propiamente dichos son tratados en las asignaturas: Ingeniería geológica y Mecánica de suelos y rocas así como la práctica de Ingeniería geológica e hidrogeología concebida como la asignatura principal integradora de esta esfera de actuación. Esta práctica se desarrolla al final del primer semestre de cuarto año, la misma presenta el siguiente diseño.

#### **Diseño teórico de la práctica de Ingeniería geológica e hidrogeología (Cruz, et al., 2001)**

**Disciplina:** Geología Aplicada

**Año académico:** 4to.

**Semestre:** VII

**Duración:** 6 semanas.

**Total de horas:** 240 horas

**Problema:** Necesidad del estudio, conservación y protección del medio geológico (aguas rocas y suelos) para su exploración y evaluación.

**Objeto:** Rocas y suelos de la provincia de Pinar del Río.

Las prácticas se realizarán en las instalaciones del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos de Pinar del Río el cual se encuentra situado en el km. 2 ½ de la carretera a Luis Lazo. Serán utilizado sus laboratorio de mecánica de suelos y análisis de aguas así como las áreas donde este organismo, en el momento de ejecución de la práctica, este realizando trabajos de exploración ingeniero geológica.

**Objetivos educativo:** Lograr que los estudiantes muestren durante su trabajo una concepción científica de los procesos geológicos, haciendo uso de sus conocimientos para la prospección,



exploración, evaluación hidrogeológicas e ingeniero geológicas. Caracterizándose por el amor a la naturaleza y una correcta ética ambiental.

**Instructivo:** Aplicar diferentes técnicas de exploración hidrogeológica e ingeniero geológicas a partir de una tarea técnica emitida para la solución de un problema determinado.

#### **Sistema de habilidades.**

- Realizar búsquedas bibliográficas.
- Aplicación de metodologías para proyectar trabajos ingeniero geológicos e hidrogeológicos experimentales de campo y técnicas laboratorio.
- Procesamiento de los datos hidrogeológico e ingeniero geológicos, aplicando técnicas automatizadas.
- Presentación de la cartografía hidrogeológica e ingeniero geológica en formato digital.
- Identificación y cartografía de riesgos geológicos.
- Empleo de plataformas SIG.

#### **Sistema de conocimientos.**

- Preparación, realización y cálculo de ensayos a muestras de suelos, rocas y agua en el laboratorio e "in situ".
- Procesamiento estadístico e interpretación de los resultados de los ensayos.
- Confección de perfiles y mapas ingeniero-geológicos e hidrogeológicos en plataforma SIG.
- Mapeo y cartografía de procesos y fenómenos geológicos en plataforma SIG.
- Cálculos ingeniero geológicos e hidrogeológicos especiales.
- Preparación de una memoria escrita y su defensa.

#### **Sistema de actitudes (Rabadan y Martínez, 1999; Cruz et al., en prensa).**

- Solidario en los trabajos de campo, laboratorio y gabinete que se realizan.
- Protagonismo en el trabajo y en la resolución de los problemas planificados.
- Modestia en los análisis profesionales que se plantean en las sesiones de trabajo.
- Liderazgo en la caracterización de los procesos y fenómenos geológicos.
- Responsable ante las tareas asignadas en el colectivo.
- Respetuoso de las opiniones de los demás y del derecho de autor.
- Cooperativo por cuanto solamente a través del trabajo colectivo puede darse solución a los problemas planteados.
- Actitud responsable en el cumplimiento de las medidas de conservación del medio ambiente durante los trabajos de campo.
- Responsable en el cumplimiento de las medidas de seguridad e higiene del trabajo
- Cumplidor del secreto estatal.
- Sensible ante los efectos antrópicos en el medio natural.
- Actitud crítica ante los problemas medio-ambientales.
- Organizado en el cumplimiento y ejecución de las actividades a realizar.
- Interpretar a partir de los métodos y técnicas más actuales los datos obtenidos, realizando un adecuado procesamiento y presentación de la información.

#### **La geotécnia en la investigación científica estudiantil.**



El enfoque de la investigación científica estudiantil en la carrera se concibe desde lo académico y lo laboral (figuras 1 y 2) del modo siguiente:

**Desde el componente académico.**

- Asignaturas
- El trabajo de investigación extracurricular

**Desde el componente laboral investigativo.**

- Prácticas docentes y laborales
- El proyecto de diploma

Para el desarrollo de la investigación estudiantil relacionada con la temática, fue confeccionado por Cabrera (2002) un Catastro ingeniero geológico y geoambiental (CtlG), en plataforma SIG, de la provincia de Pinar del Río que es utilizado por los estudiantes en sus diferentes actividades orientadas por los profesores.

El CtlG, no es más que un inventario general de las Condiciones Ingeniero geológicas (CIG), expresado por todos aquellos mapas cuyos contenidos reflejan en alguna medida las condiciones naturales del terreno, obtenidos mediante la determinación descriptiva, gráfica y estimación de todos los componentes necesarios en la evaluación de la estabilidad de una obra determinada. Dentro del catastro se incluyen todos aquellos mapas, ya sean de carácter geológico o no, que en un momento dado son necesarios consultar para poder evaluar una situación geológica o geólogoambiental determinada. Diseñado a partir de un modelo que describe la variabilidad espacial escalonada y consecutiva de los diferentes factores que intervienen en la evaluación de las condiciones ingeniero geológicas y geoambientales de los territorios, basado en el empleo de los SIG.

La utilización de este material esta concebida desde el primer año de la carrera hasta el quinto año. Su uso, por cursos, esta orientado de la siguiente forma:

**Primer año:** Material de consulta bibliográfica en las asignaturas Geología general I y II.

**Segundo año:** Material de consulta bibliográfica y gestión de información en las asignaturas Geología estructural, Geotectónica y Geomorfología y teledetección.

**Tercer año:** Gestión de información en las asignaturas Hidrogeología general y Perforación.

**Cuarto año:** Gestión de información, evaluación de recursos, planeamiento urbano, selección de sitios, generación de nuevas capas de información en las asignaturas Mecánica de suelo y rocas e Ingeniería geológica.

**Quinto año:** Gestión de información en la elaboración de la tesis de grado.

Al CtlG se le da además uso en la investigación científica extracurricular cuando las mismas se relacionan con los siguientes contenidos:

1. Estudios medioambientales.
2. Evaluación de recursos naturales.



3. Apoyo a la realización de planes y proyectos como herramienta de cálculo y diseño.
4. Investigaciones científicas.
5. Informatización del mapa histórico territorial.
6. Gestión de información.
7. Planeamiento urbano.

## Conclusiones

1. En el curriculum de la carrera de geología para un profesional de perfil amplio, diseñado en Cuba, esta presente una fuerte componente laboral investigativa en la que se garantiza los conocimientos necesarios para un desempeño profesional adecuado en la rama de la geología aplicada a las construcciones.
2. La práctica laboral investigativa debe tener un adecuado diseño y objeto de estudio para que garantice la integración de los contenidos geotécnicos y la preparación del estudiante en la ejecución de trabajos profesionales en esta esfera.
3. La investigación científica estudiantil desde la componente académica, laboral investigativa y extracurricular debe ser bien conducida por el colectivo de profesores, pues la misma contribuye significativamente a la sistematización de habilidades profesionales en el futuro egresado, el cual debe dar respuesta concreta en la esfera de la construcción.

## Bibliografía

- Cabrera, B. J., 2002. Introducción al Catastro ingeniero geológico y geoambiental de la provincia de Pinar del Río. Aplicando tecnología SIG. Tesis de doctorado. Universidad de Pinar del Río. Cuba.
- Cruz E. M. Díaz O y Cáceres D., 2001. Un escenario de interdisciplinalidad: las prácticas de campo. Enseñanza de las ciencias de la tierra. Vo 9, No 1: 21-28.
- Cruz E. M. Hernández I. Pérez P. y Cáceres D. Educación e instrucción: un reto para el profesor de geología (en prensa).
- Plan de Estudio C perfeccionado, carrera de geología. Ministerio de Educación Superior, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y Universidad de Pinar del Río, 1998.
- Rabadan J. M y Martínez P., 1999. Las actividades de la enseñanza de las ciencias: aproximación a una propuesta organizativa y didáctica. Alambique 22. Didáctica de las ciencias experimentales, 67-75.



## APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE REHABILITACIÓN MINERA EN LA DOCENCIA DE PRE Y POSGRADO DEL INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

Ana Caridad Che Viera<sup>(1)</sup>, Mayda Ulloa Carcassés<sup>(2)</sup>

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Las Coloradas S/N, Moa, Holguín, Cuba, CP; 83329. Email: [ache@ismm.edu.cu](mailto:ache@ismm.edu.cu)

(2) Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Las Coloradas S/N, Moa, Holguín, Cuba, CP; 83329. Email: [mulloac@ismm.edu.cu](mailto:mulloac@ismm.edu.cu)

### RESUMEN

Los ingenieros de Mina que se preparan en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa reciben en su plan de estudio una preparación que les permite adquirir los conocimientos necesarios para desarrollar los trabajos mineros teniendo en cuenta la influencia que estos ejercen sobre el medio ambiente y viceversa, tomar medidas y aplicar métodos de prevención, protección y rehabilitación para compatibilizar la minería con el medio ambiente.

La formación ecológica se logra a través de una estrategia curricular que se desarrolla a lo largo de la carrera y que culmina con una asignatura en el último año, lo cual es una expresión auténtica de la toma de conciencia del profesorado universitario de la rama extractiva sobre la necesidad de explotar racionalmente los recursos y adoptar medida para reducir el impacto ambiental negativo que produce a niveles admisibles.

El trabajo "Combinación de los trabajos mineros con los de rehabilitación en áreas degradadas por la minería" forma parte de los contenidos de la asignatura Protección del Medio, debido a que recoge las experiencias mas avanzadas de la practica mundial y de parte de la industria minera cubana. Además se implementa y generaliza en la docencia de postgrado en las asignaturas de la Maestría de Geología, Rehabilitación de degradadas, en Maestría de Minería, en la asignatura Rehabilitación del Medio Ambiente, y en la Especialidad de Yacimientos Lateríticos, en la asignatura Rehabilitación de espacios minados.

### ABSTRACT

Mining is a necessary activity for any society, however, it often produces important Environmental Impacts, to minimize them up to where it is possible, by means of technical opportune contained in an engineering project integrated to the project of exploitation.

The Engineers of Mine that they get ready in the Institute Superior Mining Metallurgist of Moa they receive in their study plan, a preparation that allows them to acquire the necessary knowledge to develop the mining works keeping in mind the influence that they exercise on the environment and to take measures applying methods of prevention, protection and rehabilitation, that which is an authentic expression of the taking of the university faculty's of the extractive branch conscience about the necessity to exploit the resources rationally and to adopt measures to reduce to acceptable levels the negative environmental impacts that it produces.

In this work the experiences are exposed in the introduction of the topic "Rehabilitation of areas damaged by mining" in the subject Protection of the environment that is imparted in 5th year of the career of Engineering of Mines and the implementation and generalization in the graduate degree studies in the subjects of the Master of Geology, "Rehabilitation of degraded areas", in the Master of Mining, in the subject "Rehabilitation of the Environment", and in the Specialty of Laterite Ore deposits, in the subject "Rehabilitation of mined spaces."

The teaching of these contents has contributed to allowed to the graduate of pre and graduate degree a better in the performance and postgraduates. it has also promoted a sound and responsible approach to the environment.

## INTRODUCCIÓN

Entre las actividades medioambientales iniciales desarrolladas por el personal docente y por los estudiantes de la antigua Facultad de Minería del ISMM de Moa, se encuentran los trabajos de investigación de la contaminación y de la protección de las aguas superficiales en los ríos Moa y Cabañas, del propio municipio moense.

Los mencionados trabajos se iniciaron en fechas tan tempranas como aquellas en que se creó la Facultad de Ingeniería Ecológica en el Instituto Superior de Minas G. B. Plejanov, de Leningrado (el Gorni), con el cual se establecieron relaciones de cooperación para estos fines, cerca de una década más tarde. Además, el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez (ISMM), estuvo tempranamente representado en la Comisión Asesora del Ministro de Educación Superior de la República de Cuba, para el Medio Ambiente, integrada también por investigadores de la Universidad de La Habana, de la de Las Villas, y de otros centros de Educación Superior del país, bajo la Dirección del Centro Nacional de Investigaciones Científicas

A partir de la década de los 80 se comenzó a ofrecer conferencias de Protección del Medio Ambiente al personal docente en la Facultad de Minería por un profesor del Gorni, perteneciente la Cátedra de Termofísica Minera, y al final de esa década, por otros profesores provenientes de la Facultad de Ingeniería Ecológica de dicho centro leningradense. Esa cooperación se interrumpió al ocurrir la desintegración de la URSS.

Todo lo dicho permite comprender la necesidad de la formación, superación incesante y organización de una actividad creciente de los propios cubanos para el desarrollo de tan compleja y vital labor, hasta que su número abarque a una parte considerable y siempre creciente de los integrantes aptos de la sociedad cubana, independientemente del área particular en que desarrollen su labor principal.

La formación ambiental es una parte inseparable de la formación ergoambiental y puede y debe abordar las más variadas y ricas expresiones de las culturas de distintos pueblos y épocas, desde su posición principal, ergoambiental.

En aras de tan nobles fines se trabaja en nuestro país, con el Ministerio de Educación Superior en un lugar destacado, y dentro de ISMM, la Facultad de Geología y Minería, el Dpto. de Minería y su colectivo de carrera y el de la disciplina Protección Ergoambiental, con los profesores de sus asignaturas.

Dentro del Instituto se encuentra además el Centro de Estudios del Medio Ambiente (CEMA) y se tienen relaciones con empresas industriales de la rama minero-metalúrgica, con otras entidades nacionales e internacionales de perfiles afines.

Fue en el último quinquenio del siglo XX que se incorporó al plan de estudio de la carrera de Ingeniería de Minas, la asignatura de Protección del Medio Ambiente (PMA) en pregrado y la realización de la Maestría y el Diplomado relacionados con la PMA en el ISMM de Moa.

En el Departamento de Minería se organizó la disciplina de Protección Ergoambiental, integrada por cuatro asignaturas: Química General, Ventilación de Minas, PHTM y Protección del Medio. (Plan de Estudio C Carrera Ingeniería Minas, 1999)

El impetuoso desarrollo de la ciencia y la tecnología, los cambios que se producen diariamente en el entorno en que vivimos y nuestros principios socialistas son algunos de los elementos fundamentales en que se debe sustentar la formación integral de nuestros futuros egresados para prepararlos con los conocimientos, hábitos y habilidades necesarios para enfrentar los problemas en las diferentes esferas de actuación.

La minería como actividad necesaria para cualquier sociedad, produce a menudo Impactos Ambientales importantes, por lo cual, la Minería debe restaurar hasta donde sea posible dichos impactos mediante técnicas oportunas contenidas en un proyecto de ingeniería integrado al proyecto de explotación. En tal sentido, se han introducido en la docencia minera, los resultados mas relevantes de la aplicación de técnicas de explotación amigables con el medio ambiente con el objetivo de:

- Contribuir a la concientización del estudiante en la necesidad de que la eficiencia, eficacia y competitividad de las empresas mineras deben estar sustentadas en una correcta protección del hombre y el medio ambiente.
- Lograr que el estudiante incorpore a su personalidad los valores y rasgos fundamentales que determinan una correcta interrelación Hombre - Producción - Naturaleza, sobre la base de una actuación responsable sobre el medio ambiente.
- Que los egresados pueda proponer soluciones a situaciones o problemas productivos y ambientales en las distintas esferas de actuación. (Estrategia Curricular Ergoambiental, 2003)

## MATERIALES Y METODOS

La Revolución Cubana ha dedicado grandes esfuerzos humanos y naturales a la consolidación de la educación del país, aspecto éste de un peso esencial para nuestro desarrollo socioeconómico. Al respecto se recoge en los lineamientos económicos y sociales para el quinquenio (1986 - 1990 ) que "Elevar la calidad de la educación constituye el objetivo fundamental para el cual será necesario continuar perfeccionando el Sistema Nacional de Educación..." En este mismo documento se resalta además que deben "...continuar los trabajos dirigidos a desarrollar en los estudiantes, cada vez más, la capacidad de razonar y actuar de forma creadora, ampliar el uso de los métodos activos de enseñanza para desarrollar las actividades prácticas y la solidez de los conocimientos de los egresados de los distintos tipos y niveles de educación." Todo ello fue ratificado en el V Congreso del PCC en el que fue expresado que " La educación ... basada en el principio martiano del estudio y el trabajo ... continuará ... elevando permanentemente la calidad de este servicio". (Castro Ruz, F. 1997)

Todo lo anterior revierte especial importancia en las condiciones actuales que vive la nación, en las cuales se debe resolver de forma creadora los múltiples problemas a los que se enfrenta el país, esencialmente con sus propios recursos e inteligencia, por lo que graduar en las universidades egresados educados en el espíritu de independencia y de pensamiento creador se convierte en un problema vital.

Desde 1999 en el ISMM se imparte la asignatura Protección del Medio en la carrera de Ingeniería de Minas y está diseñada para lograr concientizar a los egresados sobre la limitación de los recursos naturales y la necesidad de realizar la explotación y aprovechamiento racional de los recursos minerales, dentro de una política global de desarrollo industrial y al mismo

tiempo de conservación del medio ambiente como obligación social. Esto implica ejecutar la explotación simultáneamente con la rehabilitación de los terrenos minados, para lograr la adecuación ecológica y paisajística de los terrenos afectados.

En tal sentido la asignatura esta estructurada con un enfoque sistémico, resaltando la necesidad de abordar la temática por equipos interdisciplinario y el papel del Ingeniero de Minas en ese contexto. (Cabral A. Programa Analítico Asignatura Protección del Medio, 2004)

La siguiente composición temática es la siguiente:

Tema I: Aspectos históricos de las relaciones hombre- naturaleza.

Tema II: Evaluación y control del impacto ambiental en la minería.

Tema III: Rehabilitación de terrenos degradados por la minería.

El Sistema de Conocimiento del tema Rehabilitación de zonas dañadas recoge los usos posibles a que pueden destinarse los terrenos afectados por las explotaciones mineras y las características de los proyectos de rehabilitación. Estos proyectos se basan en la exigencia de un cumplimiento, que por una parte contempla los aspectos relacionados con las características de la explotación, que están ligadas directamente con la posibilidad o no de un uso determinado, y por otra parte, el seguimiento de los aspectos relativos a la seguridad e higiene del trabajo. (Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en la Minería, 1989)

La introducción en la docencia de pre y pos grado de la metodología de rehabilitación que combinan los trabajos mineros con la rehabilitación ambiental permite a los futuros graduados en su esfera de actuación, una mejor interacción de los trabajos mineros con el medio ambiente.

Como metodología se aplica exitosamente en el tema Rehabilitación Minera de la asignatura Protección del Medio, de la carrera de Ingeniería de Minas y se ha llevado a la practica a través de tareas extraclases, talleres y se culminaría con el análisis de casos prácticos donde se aplican con éxito las metodologías de avanzada

Se han desarrollado numerosos Trabajos de Diploma donde se ha implementado esta metodología:

1. Rehabilitación ambiental de los terrenos minados de la Mina "El Cobre". Provincia Santiago de Cuba. Autor Manuel Humberto Armijo (1997).
2. Rehabilitación de áreas degradadas por la minería del níquel el Yacimiento "Punta Gorda" de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Autor Aleer Goi Leek (1998).
3. Rehabilitación de escombreras en la Empresa Pedro Soto Alba Moa Níkel SA. Autor Joni Obambi (2000).
4. Rehabilitación de áreas afectadas por la minería en el Yacimiento "Amores". Autor Marcelino Lido (2000).
5. Rehabilitación de áreas exteriores afectadas por la explotación en la mina de cromo refractario "Merceditas". Autor Nunes Estevao. (2001).
6. Rehabilitación del Yacimiento "Los Naranjos". Autor Manuel Eugenio Alfredo (2002).
7. Propuesta de rehabilitación de la cantera de materiales de la construcción "La Inagua" Provincia Guantánamo. Autor Alfredo Munze Muatxite. (2003).
8. Proyecto de rehabilitación de la cantera "Yarayó", municipio Palma Soriano de la Empresa de Materiales de la Construcción de Santiago de Cuba. Autor Yakuba Conte. (2003).

9. Rehabilitación del Yacimiento “El Dorado II” Sector Bamba. Autor Mansur Mamin Ali. (2003)

En la docencia de posgrado se implementa en la asignatura “Rehabilitación de áreas dañadas” de la maestría de Geología, Mención Medio Ambiente; en la asignatura Rehabilitación de espacios minados, de la maestría de Minería, donde además de la teoría se estudian aquellos casos donde se ha implementado con éxito la metodología, -Caso INOSA (España), Fábrica Ernesto Che Guevara y Yacimiento Los Naranjos, (en Moa, Cuba)- y se han desarrollado dos tesis de maestría con el tema en cuestión:

- Rehabilitación de áreas minadas del Yacimiento “Punta Gorda”. Autora Ingeniera Xiomara Sevilla Rodríguez.
- Rehabilitación ambiental de las áreas minadas del Yacimiento Cromita “Los Naranjos”. Autor Ingeniera Sunilda López Hinojosa.

## CONCLUSIONES

La introducción de la rehabilitación de espacios minados en la docencia minera de pre y postgrado ha permitido:

1. Que los graduados adquieran los conocimientos necesarios para desarrollar los trabajos mineros teniendo en cuenta la influencia que estos ejercen sobre el medio ambiente y viceversa, tomar medidas y aplicar métodos de prevención, protección y rehabilitación para compatibilizar la minería con el medio ambiente.
2. Contribuir a la concientización del estudiante en la necesidad de que la eficiencia, eficacia y competitividad de las empresas mineras deben estar sustentadas en una correcta protección del hombre y el medio ambiente.
3. Lograr que el estudiante incorpore a su personalidad los valores y rasgos fundamentales que determinan una correcta interrelación HOMBRE-PRODUCCIÓN-NATURALEZA, sobre la base de una actuación responsable sobre el medio ambiente, y que se adquieran herramientas que le permitan elaborar soluciones a situaciones o problemas productivos y ambientales en su esfera de actuación.
4. Un mejor desempeño a los graduados en su esfera de actuación compatibilizando los trabajos mineros con la protección del medio ambiente

## BIBLIOGRAFÍA

- Cabral A. 2004. Programa Analítico Asignatura Protección del Medio. 6 p.
- Castro Ruz, F. 1997. Informe Central del PCC. La Habana. Editora Política. 205 p.
- Instituto Tecnológico Geominero de España. 1989. Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en la Minería. Madrid.
- Miranda J. R. Estrategia Curricular para la formación ecológica de los Ingenieros de Minas. 2004. . Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez. Moa.
- Ministerio de Educación Superior. 1995. Plan de Estudio C para la carrera de Ingeniería de Minas.
- Programa Analítico asignatura Protección del Medio. 2004. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez. Moa

## RELACIONES ORIGINALES CORDILLERA DE GUANIGUANICO, SE GOLFO DE MEXICO, BLOQUE MAYA.

**Jorge Luis Cobiella Reguera**

*Departamento de Geología, Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Martí # 270, Pinar del Río. E-mail: [jcobiella@geo.upr.edu.cu](mailto:jcobiella@geo.upr.edu.cu)*

### ABSTRACT

The largest outcrops of the northern passive paleomargin are developed in the Guaniguanico Cordillera of western Cuba, where four different sections are represented: 1- Sierra del Rosario/La Esperanza/ Alturas de Pizarras, 2- Sierra de los Organos, 3- Pan de Guajaibon and 4- Cangre belt. The northern ophiolites and Cretaceous volcanic arcs sections tectonically rest on the Mesozoic paleomargin. An alpine style tectonics, with nappes travelling considerable distances, complicates the present geologic picture in western Cuba.

The younger sequences in the Cordillera de Guaniguanico, beginning with the Upper Jurassic, are almost always carbonate rocks, meanwhile the lower part (Oxfordian or older) is terrigenous. An unconformity is present that could be correlated with the Mid-Cretaceous Sequence Boundary of the Gulf of Mexico and Florida Straits. Upper Cretaceous beds are very scarce. Almost the same picture is present in the SE Gulf of Mexico, according to DSDP leg 77 and recent seismic data. The similarities in stratigraphy and geologic history with the Gulf sections, along with their actual relationships testify that the Guaniguanico Mesozoic sections should be part of the passive paleomargin of North America, and not a tectonostratigraphic terrane. The recent discovery of allochthonous Lower Cretaceous pelagic sections in Belize, thrust from the east during the early Tertiary, suggest a probable original link with Guaniguanico coeval deposits. Therefore, the Guaniguanico, Gulf of Mexico and probably the pelagic deposits in Belize sections have been juxtaposed from the beginning of their geological history, a very attractive fact for oil exploration. A palinspastic reconstruction is proposed, with the following arrangement of the paleogeographic-paleotectonic units (from north/northwest to south/southeast): 1- Yucatan (NE Maya block), 2- SE Gulf of Mexico, 3- Cordillera de Guaniguanico (including Lower Cretaceous deposits in Belize), 3a- Sierra de los Organos, 3b- Cangre belt, Sierra del Rosario/Esperanza/Alturas de Pizarras/ Pan de Guajaibón, 4- Proto-Caribbean oceanic basin.

Las relaciones geológicas entre el sudeste del Golfo de México y Cuba occidental (Cordillera de Guaniguanico) apenas han comenzado a ser investigadas. A partir de la fragmentación de Pangea en el Jurásico, el Golfo de México, Yucatán y el norte de Cuba pasaron a formar parte del sur de la placa norteamericana ( Schlager y Buffler, 1984; Marton y Buffler, 1994). Sobre las rocas del paleomargen se disponen los depósitos de una cuenca de antepaís del Paleoceno Tardío y el Eoceno Temprano (Iturralde-Vinent, 1996; Pszczolkowski, 1994) . Nappes que cabalgan desde el sur, originados en el Cenozoico temprano complican el corte (Hatten, 1967; Pszczolkowski, 1994; Bralower and Iturralde-Vinent, 1997; Moretti et al., 2003; Cobiella-Reguera, 1996, 2000a, b; 2003, Gordon et al., 1997). La estructura de mantos tectónicos buza, en general, hacia el norte y culmina con las ofiolitas y las rocas de un terreno de arco volcánico cretácico, ambos unidades protocaribeñas. Al norte del cinturón de mantos yacen las rocas del SE del Golfo de México, cuyo borde sur, perteneciente a la cuenca de antepaís, es cubierto por los nappes (Bralower and Iturralde-Vinent, 1997; Moretti et al., 2003).

En la Cordillera de Guaniguanico, cuatro tipos diferentes de columnas del Jurásico – Cretácico están presentes. Las secuencias, comenzando por el Oxfordiano, son cortes mayormente carbonatados, en tanto que los sedimentos jurásicos más antiguos son deltaicos o continentales . Una discordancia, correlacionable con la "Discordancia del Cretácico Medio" del Golfo, está



presente. Las capas del Cretácico Superior están casi ausentes (Pszczolkowski, 1999; Cobiella-Reguera, 2000). Un cuadro estratigráfico bastante semejante está presente en

**Tabla 1. Cálculo del desplazamiento horizontal (en kilómetros) de las unidades palinspásticas de la Cordillera de Guaniguanico.**

Unidad tectónica	a	n	a-n	ds	D
S. de los Organos (SO)	12,5	5	62,5	0	62,5
Alt. Pizarras del Sur (APS)	32,5	1?	32,5	62,5	95
Cinturón Cangre (C)	7,5	1	7,5	95	102,5
Ancho total de APS+C			40		
Alt. Piz. del Norte (APN)	10	2	20	62,5	82,5
Rosario/Esperanza (SR/E)	15	6	90	82,5	172,5
Pan de Guajabón (G)	2	1	2	172,5	174,5
Ancho total de las unidades de Guaniguanico:			214,5		

*a: ancho de la unidad tectónica, n: nappes presentes, ds: desplazamiento horizontal de los nappes subyacentes, D: Desplazamiento horizontal total de la unidad.*

el Golfo de México suroriental, de acuerdo a los datos del DSDP, y varias campañas sísmicas (Schlager, Buffler et al., 1984; Moretti et al., 2003).

La tectónica presente en la Cordillera de Guaniguanico y áreas aledañas evidencia que las unidades más altas estructuralmente debieron ser las originalmente más sureñas. Un excelente ejemplo se revela en la región clásica de la Sierra de los Organos entre Viñales y Puerto Esperanza (Hatten, 1957, Cobiella-Reguera, 2003). Los datos sísmicos de Moretti et al. (2003) muestran que estas estructuras se extienden hacia el mar, alcanzando el borde meridional del Golfo de México. Debe señalarse aquí que la interpretación estructural de Moretti et al. (2003), con nappes buzando hacia el sur, es diferente a las de los geólogos que han realizado cartografía de superficie, donde los nappes se consideran buzando hacia el norte (Hatten, 1957, Piotrowska, 1978, Pszczolkowski, 1994, Cobiella-Reguera, 1996, 2003).

El autor (Cobiella-Reguera 2003) ha realizado cálculos preliminares sobre la magnitud de los desplazamientos de los nappes de la Cordillera de Guaniguanico, a partir de: 1-el estudio en detalle de parte de la Sierra del Rosario, 2- sus observaciones en reconocimientos en otras áreas, 3- la literatura geológica regional, publicada e inédita y 4- el mapa geológico 1: 250 000 editado por Puscharovskiy (1989). Los estimados sobre la magnitud de los sobrecorrimientos realizados a partir de la interpretación de esas fuentes indican que el ancho original del paleomargen en Guaniguanico debió ser del orden de unos 200 km (Tabla 1; Cobiella-Reguera, 2003). Este dato ofrece un primer acercamiento cuantitativo al estimado del desplazamiento horizontal de los nappes de la Cordillera.

Recientemente, cortes alóctonos del Cretácico Inferior, tectónicamente emplazados desde el este durante el Terciario inferior y con notables similitudes con los de Guaniguanico, han sido hallados en Belice, en el SE del bloque Maya (Schaffhauser et al., 2003). Lo anterior sugiere que los cortes de la Cordillera de Guaniguanico (incluyendo Belize), el SE del Golfo y Yucatán, deben formar secuencias que han estado yuxtapuestas desde el inicio de su evolución.

En futuros estudios, la interpretación cuidadosa y crítica de los mapas 1: 50000 que existen para toda la Cordillera de Guaniguanico, unido a estudios estratigráficos y faciales detallados en cada nappe, permitirán obtener mas información de valor para una reconstrucción palinspástica. Un modelo de reconstrucción palinspástica es propuesto, con la siguiente disposición (NO a SE) de las unidades paleogeográficas - paleotectónicas (Figura): 1- Yucatán (NE bloque Maya), 2- SE Golfo de México, 3- Cordillera de Guaniguanico (los cortes de Guaniguanico, en su prolongación al sur, incluyen los sedimentos hemipelágicos de Belice, 3a-Sierra de los Órganos, 3b- Cinturón

Cangre, Sierra del Rosario/Esperanza/Alturas de Pizarras del Norte y Sur /Pan de Guajaibón 4-  
Cuenca oceánica protocaribeña.

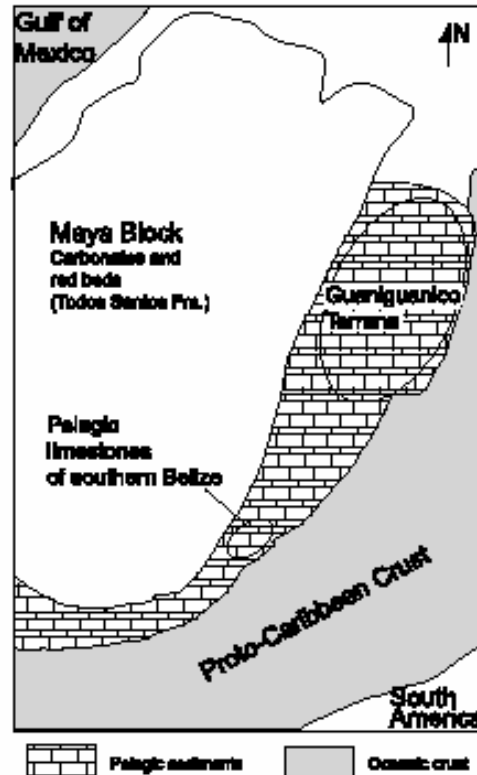


Figura 1 . Esquema paleogeográfico del bloque Maya en el Cretácico Temprano según Schaffhauser et al (2003). La posición asignada al "Terreno Guaniguanico" por estos autores es cuestionada por los datos contenidos en el presente trabajo.

Lo anterior sugiere que los cortes de la Cordillera de Guaniguanico, el SE del Golfo y Yucatán, deben formar secuencias que han estado yuxtapuestas desde el inicio de su evolución.

En futuros estudios, la interpretación cuidadosa y crítica de los mapas 1: 50000 que existen para toda la Cordillera, unido a estudios estratigráficos y faciales detallados en cada nappe, permitirán obtener mas información de valor para una reconstrucción palinspástica de fundamental importancia para la prospección petrolera que se avecina en la región. Un modelo de reconstrucción palinspástica es propuesto, con la siguiente disposición (NO a SE) de las unidades paleogeográficas-paleotectónicas: 1- Yucatán (NE bloque Maya), 2- SE Golfo de México, 3- Cordillera de Guaniguanico , 3a-Sierra de los Órganos, 3b- Cinturón Cangre, Sierra del Rosario/Esperanza/Alturas de Pizarras del Norte y Sur (los cortes de Guaniguanico incluyen los sedimentos hemipelágicos de Belice) 4- Cuenca oceánica protocaribeña.

### Referencias bibliográficas.

- Bralower, T. e Iturralde-Vinent, M., 1997. Micropaleontological Dating of the collision between the North America and Caribbean plates in western Cuba, *Palaios* 12, 133-150.
- Cobiella Reguera, J. 1996 b. Estratigrafía y eventos jurásicos en la cordillera de Guaniguanico, Cuba occidental. *Minería y Geología*, v.13(1), 11-25.
- Cobiella-Reguera, J., 2000. Jurassic and Cretaceous geological history of Cuba. *International Geology Review* 42 (7), 594-616.



- Cobiella-Reguera, J., 2003. Estratigrafía mesozoica de Cuba occidental (Cordillera de Guaniguanico). Implicaciones para el sudeste del Golfo de México. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias, GREG08 (CD-Rom).
- Cobiella-Reguera, J., A. Hernández- Escobar, N. Díaz-Díaz, S. Gil-González, 2000. Estratigrafía y tectónica de la Sierra del Rosario, Cordillera de Guaniguanico, Cuba occidental. Minería y Geología XVII (1).
- Gordon, M., P. Mann, D. Cáceres, R. Flores, 1997. Cenozoic tectonic history of the Northamerica-Caribbean plate boundary in western Cuba. *Journal of Geophysical Research* 102, 10055-10082.
- Hatten, C., 1967. Principal features of Cuban geology: Discussion. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 51, 780-789.
- Iturralde-Vinent, M., 1996. Introduction to Cuban geology and geophysics. En: Iturralde-Vinent, M., (ed.), *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, 3-35. International Geological Correlation Programme, Project 364. Geological Correlation of Ophiolites and volcanic arcs in the Circumcaribbean Realm, Miami, Florida.
- Marton, G., R. Buffler, 1994. Jurassic Reconstruction of the Gulf of Mexico Basin. *International Geology Review* 36, 545-586.
- Piotrowska, K., 1978. Nappe structure of Sierra de los Órganos, western Cuba. *Acta Geologica Polonica* 28, 97-170.
- Pszczolkowski, A., 1994. Lithostratigraphy of Mesozoic and Paleogene rocks of Sierra del Rosario, western Cuba. *Studia Geologica Polonica* 105, 39-66.
- Pszczolkowski, A., 1999. The Exposed Passive Margin of North America in Western Cuba. En: Mann, P. (Ed.), *Caribbean Basins, Sedimentary Basins of the World*, 4, 93-121 (Series Editor: K.J. Hsu), Elsevier, Amsterdam.
- Schlager, W. y Buffler, R., 1984. Deep Sea Drilling Project Leg 77, southeastern Gulf of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, v.95, 226-236.

# CARACTERIZACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS ASOCIADOS A LA FALLA PINAR MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS GEÓLOGO – GEOFÍSICAS

**Carlos E Cofiño Arada<sup>(1)</sup>**, Orestes Díaz Valdés<sup>(1)</sup>, Eddy A. Naranjo Parra<sup>(1)</sup>, Jances Mendes Da Cruz Verdades<sup>(1)</sup>.

(1) Dpto. Geología, Universidad de P. del Río. Martí # 270 final Pinar del Río Cuba. Telf 779656 [cenriques@geo.upr.edu.cu](mailto:cenriques@geo.upr.edu.cu).

## RESUMEN

El objetivo principal en este trabajo es la creación de un modelo geólogo–geofísico que explique la existencia de anomalías magnética en el occidente de la provincia de la Habana, de tal forma que permita demostrar así desplazamientos sinistres de la falla Pinar.

En este proceso se registró la distribución de los campos magnéticos y gravimétricos a lo largo de perfiles ubicados sobre la anomalía. Y se elaboró un modelo inicial que fue transformado con una aplicación que realiza un análisis combinado de estos campos geofísicos.

Como resultado se obtuvo un modelo final, que explica dicha anomalía a partir de la ubicación en profundidad de un cuerpo fuertemente magnetizado, con magnetización remanente, que se le dieron características análogas a las de la faja metamorizada de las Alturas Pizarrosas del Sur.

## ABSTRACT

The first stage of these research consisted in obtaining a geological-geophysical model to explain the existence of a magnetic anomaly in western Havana. The distribution of the magnetic and gravity fields were registered by means of placing profiles over the anomaly. A model was obtained and later transformed with a software that realizes a combined analysis of these geophysical fields.

A final model was obtained that explains the anomaly by placing a deeply seated body that is strongly magnetized, with remanent magnetization that give similar characteristics to those of metamorphized belt from the Alturas Pizarrosas del Sur, these results demonstrated the sinistral displacements of Pinar faults.

## INTRODUCCIÓN

### Geología de la Región.

La zona de estudio se ubica en el paleomargen pasivo mesozoico de la América del Norte que han sido cubiertas por un potente espesor de rocas que constituyen la secuencia postorogénica que cubre como un manto todas las secuencias del margen continental, rocas del arco y los restos del complejo ofiolítico que se desarrolla en todo el borde septentrional de la isla. El paleomargen está constituido por rocas depositadas en el antiguo margen continental pasivo norteamericano durante el Jurásico y el Cretácico. Son mayormente sedimentos carbonatados, acumulados en aguas tropicales a profundidades variables, aunque también hay sedimentos siliciclásticos y evaporitas y en los cortes de aguas más profundas, durante el Cretácico abundan los pedernales.

Las rocas mesozoicas yacen sobre un basamento que solo aflora pobremente en el norte de Cuba central, donde está compuesto por mármoles con flogopita y vesubiana de edades radiométricas del orden de los 900 Ma (Proterozoico). Desde el punto de vista regional los últimos trabajos realizados en Pinar del Río (Martínez et al., 1994), la dividen en dos grandes Zonas Estructuro-faciales, Guaniguanico, en la que destacan la presencia de dos subzonas, Los Órganos y El Rosario y la Zona Zaza, la que la subdividen en dos subzonas, San Diego de los Baños y Bahía Honda

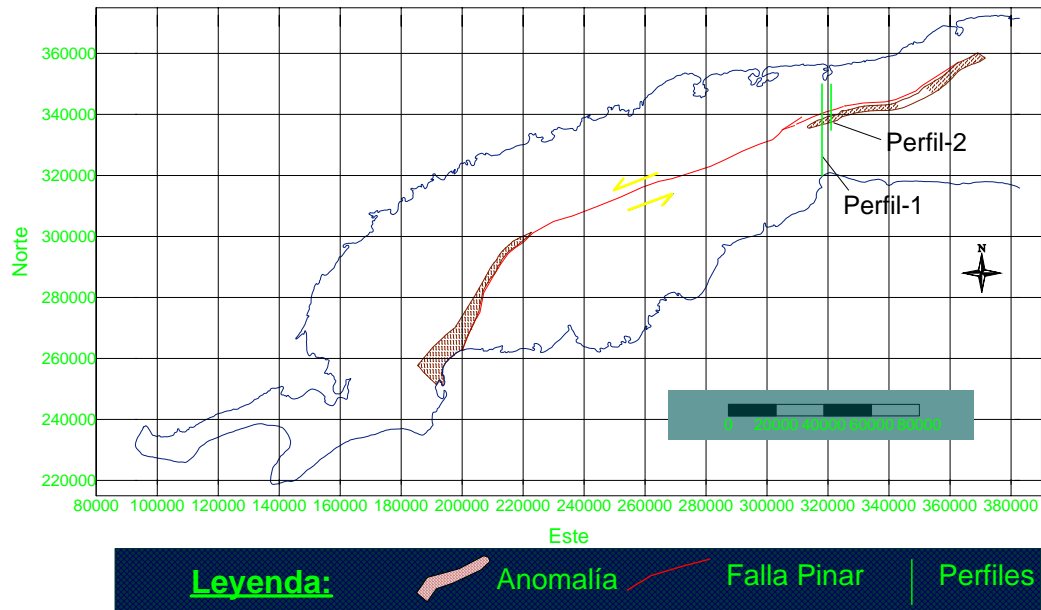


Figura 1 Ubicación del área de los trabajos.

La Sierra del Rosario se incluye dentro de las regiones geológicamente más interesantes de Cuba, debido a la gran variedad de problemas tectónicos, estratigráficos y magmáticos, por lo que constituye un punto clave en el desciframiento de la geología de Cuba y áreas adyacentes.

### Propiedades Físicas de las Rocas, (densidad y susceptibilidad). Densidad.

A partir de los estudios de (Fernández de Lara y Díaz, 1986), la densidad media de las rocas de la región es de aproximadamente  $2.64 \text{ g/cm}^3$ , presentando un error pequeño ( $0.003 \text{ g/cm}^3$ ), por otra parte el valor más frecuente de la densidad es de  $2.67 \text{ g/cm}^3$ .

Tabla 1.1 Densidades promedios por SZEf.

Subzona Estructuro-Facial	Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )
Sierra de los Órganos	2,64
Sierra del Rosario	2.67
San Diego de los Baños	2.42
Babia Honda	2.54

Se proponen los siguientes límites:

1. Las rocas de la SZEf. S. de los Órganos reportan una densidad efectiva que es como promedio  $+0.22 \text{ g/cm}^3$  con respecto a las rocas de SZEf San Diego de los Baños.

2. Las rocas de SZEFSierra del Rosario reportan una densidad efectiva de  $+0.13 \text{ g/cm}^3$  con respecto a la SZEFS. Bahía Honda y de  $+0.24 \text{ g/cm}^3$  respecto al zona San Diego de los Baños.

### **Susceptibilidad magnética**

El estudio de la susceptibilidad magnética de las rocas de la región (Fernández de Lara y Díaz Valdez, 1986), da como resultado que la gran mayoría de las mismas (91.7 %) son no magnéticas o muy débilmente magnéticas, el 5,9 % del total son débilmente magnéticas y solo el 1.8 % son magnéticas, por su parte rocas fuertemente magnéticas prácticamente no se muestrearon en la región. El análisis estadístico indica que la media es de  $89,5 \cdot 10^{-6} \text{ ucgs}$ , mientras el rango de los valores es entre  $0,0 \cdot 10^{-6} \text{ ucgs}$  y  $7200 \cdot 10^{-6} \text{ ucgs}$ .

#### **Subzonas estructuro-faciales. Sierra del Rosario.**

Las formaciones que componen la columna estratigráfica de esta zona al igual que la anterior reportan promedios de la  $\kappa$  que las ubica como rocas no magnéticas. No presentándose entre ellas diferencias significativas, por lo que no deben esperarse anomalías magnéticas debido a las mismas.

#### **Bahía Honda.**

Las rocas en general presentes en las formaciones de esta región (formaciones Capdevila, Los Negros y Encrucijada), se caracterizan por promedios de la susceptibilidad magnética en la categoría de débilmente magnéticas, aunque se pueden encontrar rocas con mas de  $1000 \cdot 10^{-6} \text{ ucgs}$ , esto puede originar en general áreas de anomalías de magnetometría con campos desarticulados e incluso la aparición de mínimos producidos por la inclusión de rocas no magnéticas, todo ello debido a la gran variabilidad de esta propiedad. Por su parte la formación Cacarajicara de la parte inferior del corte presentó una susceptibilidad media muy baja, que se diferencia significativamente de las formaciones anteriores.

#### **San Diego de los Baños.**

La Formación Paso Real está constituida por rocas no magnéticas, mientras que las formaciones Universidad, Capdevila y Los Negros presentan valores que oscilan en un amplio rango, pudiendo dar origen a campos desarticulados en el área.

### **METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS**

La metodología seguida en la captura y procesamiento de la información geólogo–geofísica. consistió de forma general en la interpretación cuantitativa de perfiles gravimétricos y magnetométricos, con la utilización del método de aproximaciones sucesivas, a partir de softwares de inversión geofísica, para datos en perfiles de modelos físico-geológicos 2,5 D. La utilización de esta metodología trajo como consecuencia la necesidad de dar solución a toda una serie de tareas encaminadas a la obtención de los modelos de partida, requisito indispensable para dar solución a la problemática planteada, permitiendo justificar con mayor grado de detalle los desplazamientos sinestrales a lo largo de la estructura tectónica Pinar.

La principal problemática metodológica que encierra este proceso de interpretación está asociada a la ambigüedad de la solución de la tarea inversa de la geofísica, lo que trajo como consecuencia la necesidad de un estudio preliminar profundo para garantizar modelos de partida, dentro de lo posible, lo más compatible a los patrones de comportamiento de la geología regional, aspecto este que indiscutiblemente contribuiría a minimizar en cierta medida la incertidumbre intrínseca a estas técnicas de interpretación.



En esencia el procedimiento consiste en la comparación de la distribución en los perfiles de interpretación de las anomalías gravimétricas y magnéticas calculadas a partir del modelo complejo físico-geológico, con la anomalía observada, mediante transformaciones en los parámetros de dicho modelo de partida (forma, yacencia y propiedades físicas), hasta obtener la mayor coincidencia entre dichas anomalías observadas y calculadas.

### **Procesamiento de la información utilizada en la interpretación geofísica.**

Para obtener el modelo físico-geológico que diese una respuesta correspondiente con los patrones de distribución de las anomalías en los perfiles, fue necesario obtener información de diversa índole, lo cual sienta las bases de la metodología seguida en el presente trabajo:

Primeramente se trazaron perfiles de interpretación gravimétricos y magnetométricos a partir de los mapas de contornos, con direcciones en la perpendicular al rumbo de las estructuras regionales y de los campos anómalos correspondientes. Esta información que se recopiló, fue necesario transformarla al formato de trabajo (Geosoft) del software de aplicación empleado (Geomodel).

Otra problemática a la que fue necesario dar solución, correspondió al esclarecimiento de que estructuras o cuerpos geológicos sería posible encontrar en la profundidad, por cuanto estos constituyen las fuentes responsables de la distribución espacial de los campos anómalos geofísicos creados en esta zona.

Un aspecto esencial a dilucidar correspondió a la caracterización petrofísica – densidad y susceptibilidad magnética – de las principales formaciones y estructuras presentes en el área, por cuanto ello constituye uno de los atributos fundamentales de los modelos físico-geológicos complejos.

Ya con toda esta información disponible fue creado un modelo inicial que se introdujo en geomodel para con una interpretación cuantitativa y mediante el método de aproximaciones sucesivas transformarlo hasta llegar al modelo final que diese una respuesta geofísica que se correspondiese con el campo observado en el perfil y finalmente hacer una interpretación geológica a estos resultados.

### **Adquisición de la información**

#### **• Perfiles gravimétricos y magnetométricos.**

Para obtener los perfiles se comenzó por trazarlos en la forma y en el área conveniente. Se ubicaron sobre el campo anómalo en la dirección norte – sur, tomando en consideración dos aspectos: En primer lugar una mayor facilidad para trabajar con las coordenadas, además de que quedaban, de esta forma, prácticamente perpendiculares al rumbo de las anomalías. La longitud de dichos perfiles se tomó de forma que pudiese abarcar los valores anómalos interesantes.

Debido a que los valores en el perfil están irregularmente espaciados ya que provienen de los contornos de distribución del campo geofísico correspondiente a cada mapa, fue necesario regularizar esta información, pues es el formato en que lo asimila la aplicación de inversión empleado (geomodel).

Para esto se confeccionaron los perfiles en papel milimetrado conservando en el eje X del perfil la misma escala existente en el mapa y tomando la escala del eje Y convenientemente de acuerdo a los valores mínimo y máximo a lo largo del perfil. Después se procedió a escanear estos perfiles que estaban sobre papel milimetrado. Producto del tamaño de los perfiles se hizo necesario su captura mediante el scanner por sectores, existiendo la

necesidad de unir, mezclar y georreferenciar posteriormente las imágenes utilizando la aplicación AutoCAD Map 2000.

El próximo paso consistió en crear una capa de información y se procedió a la digitalización del perfil a intervalos regulares con respecto al eje X y se guardó esta curva digitalizada en un archivo con extensión (.dxf), el cual se transformó a un archivo ASCII de triadas X,Y,Z, mediante la aplicación Dxf2xyz 1.3. Posteriormente este archivo se exportó a Excel donde se salvaron los datos de los perfiles en un archivo (.prn) y se le añadieron tres líneas de información, formato este, ya reconocible por geomodel.

- **Definición de los cuerpos geológicos en profundidad y en superficie.**

Para obtener la información de la posible composición del perfil se hizo un estudio de la geología regional del área, estableciendo las unidades que por su posición en superficie y sus elementos de yacencia deben estar situados en la región del mismo, definiéndose así la secuencia presente en el modelo inicial. La distribución superficial de las diferentes unidades litoestratigráficas del perfil se obtuvo a partir del mapa geológico, definiendo las formaciones distribuidas a lo largo de los perfiles establecidos en el paso anterior.

- **Recopilación de la información de las propiedades físicas (susceptibilidad magnética - densidad) y espesores.**

Después de determinar las unidades y formaciones que se van a situar en el perfil, resultó imprescindible, determinar la información de las propiedades físicas y espesores promedio de dichas unidades litoestratigráficas. Toda esta información se obtuvo de un documento inédito que se intitula "Informe de las Propiedades Físicas de las Rocas (Densidad y Susceptibilidad Magnética) Polígono\_II", (Fernández de Lara y Díaz Valdez, 1986), donde aparece dicha información con respecto a los grupos litológicos, subzonas estructuro-faciales y formaciones presentes en el área, que incluye la mayoría de las formaciones y unidades con que se confeccionó el modelo geológico.

Los valores de susceptibilidad magnética y de la densidad tomados de este informe son absolutos. Sin embargo, para trabajar en el programa de inversión geomodel es necesario introducirle los valores efectivos de estas propiedades físicas.

Para esto se hizo el siguiente proceso: se definió un cero relativo, aproximadamente acotado a la media de todo el conjunto de valores y se revalidaron estos datos con respecto al nuevo cero utilizando la fórmula siguiente:

$$V_R = V_A - \text{PROM}$$

donde :

$V_R$  – valor relativo de la propiedad física.

$V_A$  – valor absoluto de la propiedad física.

PROM – promedio de todos los valores tomados en cuenta (valor tomado como cero).

El espesor también se obtuvo del mencionado informe y no fue necesario realizar ninguna transformación a estos valores.

No obstante no todas las formaciones utilizadas estaban registradas aquí y en este caso los espesores los tomamos del Léxico Estratigráfico de Cuba. Faltando aun para estas últimas formaciones los valores de las propiedades físicas, para lo cual fueron evaluadas comparándolas con formaciones con características litológicas similares.

### **Obtención del modelo físico geológico.**

Primero se crea un modelo geológico inicial integrando la información obtenida hasta aquí de la geología regional del área y las propiedades físicas de los cuerpos geológicos, es decir

un perfil con cuerpos geológicos con los espesores, densidades y susceptibilidades magnéticas determinadas.

Este modelo se introduce posteriormente en geomodel donde puede ser transformado comparando la curva obtenida con la curva observada hasta lograr un ajuste adecuado.

- **Confección del modelo físico geológico de partida.**

Para esto con los datos de las formaciones que podrían existir en el área se comenzó a crear un modelo en papel milimetrado situando fallas (falla Pinar) aproximadamente en la zona de mayor gradiente y confeccionando el corte correspondiente con las secuencias determinadas anteriormente en el estudio geológico regional. Para precisar algunos detalles estructurales del modelo se tuvo en cuenta la historia geológica desde el punto de vista tectónico. Los espesores dados a los cuerpos situados en el perfil fueron estrictamente los de los datos obtenidos del informe y del Léxico Estratigráfico.

Las propiedades físicas de estos cuerpos fueron las medias registradas en el informe después de haber sido procesadas y llevadas a valores relativos. De este modelo así obtenido se tomaron las coordenadas de los cuerpos, ya enumerados, y se dejaron los datos hasta aquí listos para ser introducidos en el software.

## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Interpretación geofísica. Modelos físicos geológicos obtenidos.**

- **Perfiles geofísicos. Descripción.**

Se obtuvieron dos perfiles que se ubicaron sobre los mapas de contornos gravimétricos y magnéticos. La ubicación de los mismos correspondió a las coordenadas extremas:

Para el primer perfil desde 318000, 350000 hasta 318000, 320000 y el segundo desde 321000, 350000 hasta 321000, 335000, garantizando de esta forma que los mismos cortaran las principales unidades litoestratigráficas de la región en una dirección perpendicular a su rumbo, lo cual resultaba necesario tomando en consideración la utilización de una aplicación en 2.5 D.

En la curva gravimétrica del primer perfil, se puede ver que los valores oscilan entre 23.8 mGal y 54 mGal. Por el norte del perfil comienza la curva con ondulaciones de forma escalonada. Se aprecia hacia la parte central el mínimo más pronunciado que comienza por el norte como a los 14 km con el descenso más brusco de la curva y se extiende como hasta el km 20, donde comienza un incremento uniforme de los valores hasta el límite sur del perfil, que es donde se alcanzan los máximos valores gravimétricos en toda el área.

Del análisis anteriormente realizado, se llega a la conclusión de la existencia evidente de fuertes gradientes regionales horizontales del campo gravimétrico, que se supone, están asociados a la presencia de contactos tectónicos bruscos entre unidades que presentan un significativo contraste de densidad. Hacia el Norte del perfil aparece reflejada una anomalía que al parecer puede ser originada por una estructura de un orden de menor grado que las que se manifiestan hacia el centro y sur del perfil, con una densidad efectiva positiva. A continuación y en la dirección sur, se aprecia un mínimo gravimétrico flanqueado por dos zonas de máximo, que al parecer se asocian a estructuras de un orden superior, que contrastan fuertemente en la densidad, así la estructura que puede dar origen a este comportamiento se supone vinculada a la presencia de fallas que han producido movimientos verticales significativos de unidades, de forma tal que en el centro del perfil se ubican rocas con defecto de densidad y en los límites norte y sur de este bloque central se encuentran rocas con excesos de densidad. Estos criterios fueron empleados para la confección del modelo de partida.

La curva magnética que presenta valores entre los  $-192$  nT y  $100$  nT, en general tiene una estructura parecida a la gravimétrica, con una parte ondulada hacia la mitad norte, con gradientes significativos. El mínimo más pronunciado aparece hacia la parte central, pero un poco desplazado hacia el norte con respecto al mínimo gravimétrico, este comportamiento al parecer puede estar condicionado a la presencia de una estructura a cierta profundidad con una fuerte magnetización invertida, que tomando en consideración la inclinación del campo actual origina una anomalía dipolar que puede ser una de las explicaciones de la distribución espacial del campo magnético anómalo. Hacia la zona norte del perfil se aprecia también un patrón de comportamiento del campo que puede ser originado por la presencia de una anomalía dipolar, pero en este caso vinculado a un cuerpo con propiedades magnéticas significativas y de orden menor

En el segundo perfil, cuyos valores oscilan entre  $25.4$  mGal y  $44.02$  mGal, analizando la curva gravimétrica, puede reconocerse una estructura semejante a la del primero (hay que tener en cuenta que este representa la mitad del otro, comenzando desde la misma posición longitudinal y a casi tres km hacia el este), solo que el mínimo aparece un poco más hacia el norte apreciándose ya desde los  $12$  Km, y en el inicio del perfil la misma situación de escalones ondulados vista anteriormente con gradientes no muy pronunciados. El perfil termina al sur con la posición de los valores más pequeños de la curva gravimétrica. Tomando en consideración esta similitud en el comportamiento respecto al perfil 1, se supone que las causas que originan la distribución espacial del campo anómalo gravimétrico, son las mismas.

- **Unidades litoestratigráficas y petrofísica.**

Este paso constituyó una tarea imprescindible a desarrollar, para obtener el modelo físico – geológico de partida. El resultado del análisis de la información geológica regional, se fundamentó en la evaluación de las subzonas y formaciones presentes en la región de la investigación, así como los resultados de la caracterización petrofísica (susceptibilidad magnética y densidad) de las mismas, con el objetivo de establecer las principales unidades, que pudieran ser las causantes de los comportamientos anómalos de los campos analizados.

Para cumplimentar la tarea se procedió a caracterizar esquemáticamente la estructura geológica regional, donde las secuencias Órganos, Rosario, Bahía Honda que se desarrollan en el bloque sur han sido desplazadas hacia el este, debido al movimiento sinistral de falla Pinar. El perfil geofísico está ubicado de forma tal que corta las subzonas Bahía Honda al norte y los Órganos al sur, sobreyaciendo a esta última se encuentran las secuencias postorogénicas de las subzonas San Diego de los Baños. Todo este esquema regional anteriormente descrito constituyó la base para la estructuración del modelo de partida. No obstante fue necesario proceder a la caracterización con un mayor grado de detalle de las secuencias de rocas fundamentales de cada una de estas subzonas y sus propiedades físicas, con el objetivo de brindar una explicación satisfactoria al comportamiento de los campos geofísicos.

El análisis realizado se estructuró de la siguiente forma:

- Las subzonas Sierra del Rosario y Sierra de los Órganos, tomando en consideración la no existencia de grandes diferencias entre las principales secuencias presentes en las mismas, fueron caracterizadas petrofísicamente como un solo paquete. (Ver tablas 1.2 y 1.3).
- Algo semejante se hizo con las subzonas San Diego de los Baños y Bahía Honda, pero con la particularidad que las formaciones que aparecen aflorando a lo largo de la línea del perfil se tomaron como paquetes independientes.

➤ Respecto a la densidad se tomo un valor de base obtenido de una promediación que fue de  $2,42 \text{ g/cm}^3$ , a partir del cual se obtuvieron las densidades efectivas de todas las secuencias principales presentes en el área. Tomando en consideración este valor base, se destacan las siguientes densidades efectivas de partida:

- Las subzonas Sierra del Rosario y Sierra de los Órganos, manifiestan densidades efectivas positivas, pero no se diferencian entre sí.
- La subzona Bahía Honda también presenta una densidad efectiva positiva pero de menor magnitud que las anteriores, aunque no en un valor muy significativo.
- La Subzona San Diego de los Baños reporta una densidad efectiva negativa y significativamente inferior a las restantes.
- Respecto a la particularización de las formaciones que más se destacan por sus valores de densidad, encontramos que las podemos dividir en 2 grandes grupos: aquellas que se caracterizan por una densidad efectiva negativa, donde se incluyen Cojimar, Artemisa, Universidad, Guane, Guanajay y Capdevila; y por otra parte las que reportan densidades efectivas positivas como son – Rocas del Complejo Ofiolítico, Gabros, Cacarajícara y Arroyo Cangre. Es necesario destacar que tomando en consideración los rangos de variación de esta propiedad para cada uno de estas secuencias de rocas es posible manejar durante el proceso de modificación del modelo físico geológico de partida, la variación de esta densidad efectiva de partida.

➤ En lo relativo a la susceptibilidad magnética se procedió de forma similar, tomándose un valor de base obtenido de una promediación que fue de  $90.10^{-6} \text{ ucgsm}$ , a partir del cual se obtuvieron los contrastes de susceptibilidad de las secuencias principales presentes en el área. Tomando en consideración este valor base, se destacan los siguientes intervalos en esta propiedad física:

- Las subzonas Sierra del Rosario y Sierra de los Órganos, manifiestan susceptibilidades relativamente bajas, no diferenciándose entre sí.

Tabla 1.2 Caracterización petrofísica (densidad)

Subzona	Formaciones	densidad				Dens-efect
		Media	Moda	Mín.	Máx.	
S. del Rosario		2.67				0.246
S. de los Órganos		2.64				0.216
	Cojimar	1.89	1.65	1.29	2.93	-0.534
	Capdevila	2.32	2.35	1.54	3.42	-0.104
	Via Blanca	2.38	2.52	2.09	2.6	-0.044
	Comp. Ofiol.	2.68	2.69	2.37	2.93	0.256
	gabros	2.8	2.71	2.22	3.6	0.376
	Universidad	2.38				-0.044
	Cacarajícara	2.69				0.266
	Guane	1.92	1.65	1.61	2.35	-0.504

	Arroyo Cangre	2.68	2.75	2.11	2.94	0.256
	Guanajay	1.92				-0.504
San Diego		2.42				-0.004
Bahía Honda		2.54				0.116



Tabla 1.3 Caracterización petrofísica (susceptibilidad magnética)

Subzona	Formaciones	suscept. Mag(*10 <sup>-6</sup> cgs/m)				Suscep. M - efect
		media	moda	mín	máx	
S. del Rosario		20				-0.00007
S. de los Órganos		20				-0.00007
	Cojimar	0.37		0	10	0.00008963
	Capdevila	1235.6		0	12000	0.0011456
	Via Blanca	155.6		0	630	0.0000656
	Comp. Ofiol.	222.2	950	0	2000	0.0001322
	gabros	217.3	20	0	2100	0.0001273
	Universidad	246				0.000156
	Cacarajícara	2				-0.000088

- Respecto a la particularización de las formaciones que más se destacan por sus valores de  $\kappa$ , encontramos que las podemos dividir en 2 grandes grupos: aquellas que se caracterizan por una significativa Susceptibilidad magnética que las ubica en los rangos entre débilmente magnéticas a magnéticas, donde se incluyen Gabros, rocas del Complejo Ofiolítico, Universidad, Vía Blanca y Capdevila; y por otra parte las que pueden ser clasificadas como prácticamente no magnéticas a muy débilmente magnéticas como son Cojimar y Cacarajícara.

#### Modelo físico – geológico de partida.

Con toda esta información se confeccionó un modelo con las características generalizadas de los cuerpos geológicos que se recopilaron, que fuera compatible con las teorías que hasta aquí se han elaborado para dar explicación a los campos geofísicos observados.

Este modelo está constituido por 12 cuerpos (máximo posible según las limitaciones de la aplicación de inversión utilizada). En general el esquema del corte de partida se caracteriza por la presencia de una gran falla que separa el perfil en 2 partes, las secuencias al Norte que representan por su orden descendente las rocas de las subzonas Bahía Honda, Sierra del Rosario, Sierra de los Órganos y Basamento Cristalino; mientras que en la porción al Sur de la falla, se ubican por su orden descendente las secuencias post - orogénicas de la subzona San Diego de los Baños y rocas de la subzona Sierra de los Órganos y a continuación el basamento cristalino. En todos los casos, los valores de densidad efectiva y contraste de susceptibilidad magnética asignados a cada una de las secuencias, correspondió con las determinadas en el análisis petrofísico de partida.

Los parámetros generales del modelo inicial fueron los siguientes:

- # de cuerpos: 12.
- # de puntos en el perfil observado: 121.
- Profundidad máxima: 20 km.
- Intensidad del campo geomagnético: 46000 nT.
- Inclinación del campo geomagnético: 58°.
- Declinación del campo geomagnético: 0°.
- Azimut del perfil: 180°.

Altura de referencia: 0 km.

Intervalos de desplazamiento en el eje X y Y de la red en pantalla gráfica: 0.2 x 0.2 km.

### **Modelos físico–geológicos finales obtenidos.**

Tomando en consideración los desajustes observados en el modelo inicial entre las curvas observadas y calculadas es evidente la necesidad de transformar dicho modelo para lograr el acercamiento deseado entre las curvas mencionadas. Este trabajo se realizó mediante el método de aproximaciones sucesivas haciendo cambios en la forma y la posición de los cuerpos así como en sus propiedades físicas.

Inicialmente se intentó llegar a algún resultado haciendo cambios determinados lo mismo por el análisis de la curva gravimétrica como de la magnética, sin embargo el acercamiento de una producía el desajuste de la otra. Esta metodología no condujo a resultados consistentes.

Se ajustó entonces el modelo, considerando solamente la distribución del campo gravimétrico y ya con el modelo gravimétrico ajustado, se pasó entonces a realizar cambios fundamentados en el análisis de la curva magnética, obteniéndose entonces el modelo final para el perfil 1 que se muestra, junto con sus correspondientes ajustes para el campo gravimétrico y magnético, en los anexos gráficos 1,2 y 3.

Para ajustar la curva gravimétrica calculada a la observada se hicieron transformaciones estructurales del modelo, se reubicó la falla cerca de 3 km hacia el sur de donde estaba inicialmente, logrando de esta manera acercar a la posición real la zona de gradiente que aparecía en la curva calculada. Al paquete que representa a S. De los Órganos, en el bloque sur, se le aumentó su espesor quitándoselo al cuerpo que corresponde a Bahía Honda, dando esto como resultado que la curva calculada se levantara por la parte sur, acercándose de esta forma a la observada, aunque para lograr un mejor ajuste hacia esta parte del perfil se ubicó una nueva falla profunda que permitió levantar junto con el basamento el bloque que le sobreyace creando una estructura semejante al levantamiento de la Coloma. Resultó conveniente también la fusión de algunos cuerpos que se habían considerado independientes, aunque para esto hubo de transformarse su forma y establecer en ellos diferentes espesores de acuerdo a los levantamientos o descensos de la curva analizada. Conjuntamente con todas estas modificaciones se hicieron variaciones en las densidades de dichos cuerpos. Mediante un proceso cíclico, en el que tras cada cambio se comparaban los resultados obtenidos con los resultados deseados y se decidía si se anulaba este y se regresaba a la posición anterior o se continuaba con un nuevo paso haciendo nuevas modificaciones, se llegó finalmente al ajuste de la curva gravimétrica.

Después de tener este resultado se procedió a ajustar el modelo analizando la curva magnética. Para esto se realizaron fundamentalmente cambios en los valores de la susceptibilidad magnética, hasta ajustar el modelo lo más posible sin cambiar la forma de los cuerpos.

Puesto que las anomalías magnéticas de acuerdo a la dirección del campo geomagnético de la región son dipolos que se evidencian en la curva observada como combinaciones de máximos y mínimos, para obtener en la curva calculada una forma de la señal semejante a la que se ve en la curva observada, se sitúa un dipolo regional que provoque el mínimo central del perfil (polo norte inducido en el cuerpo) y cuyo máximo (polo sur) estaría hacia el norte del perfil, pues al sur se desarrollan valores relativamente bajos, siendo bastante difícil ubicar un polo sur en esta posición; mientras que hacia el norte del perfil se desarrollan valores relativamente elevados, siendo más fácil situar aquí el polo sur. Para lograr esta posición de los polos es ubicado convenientemente un cuerpo fuertemente magnetizado pero con una magnetización invertida - magnetización remanente – esta hipótesis se fundamenta en los resultados de investigaciones paleomagnéticas realizadas en la zona

occidental de la provincia de Pinar del Río (Fundora, Pérez L. Y Pérez P., 1977), que destacan la existencia de rocas que arrojan resultados de mediciones de la intensidad de magnetización remanente con valores que oscilan entre  $0,015 \cdot 10^{-3}$  ucgsm a  $231,728 \cdot 10^{-3}$  ucgsm y factor de Köenigsberg ( $Q = J_r/J_i$ ) que oscila entre valores de 1,40 hasta 153,7, por otra parte estos autores destacan dentro de sus resultados que existen toda una serie de evidencias geológicas que atestiguan acerca de la existencia de magnetización secundaria, condicionada entre otros fenómenos, a los violentos movimientos tectónicos con el consecuente calentamiento a que estuvieron sometidas las rocas - como pueden ser las serpentinitas – lo que puede traer como consecuencia la oxidación de alguna de la magnetita presente a Maghemita o Hematita y por tanto presentarse una magnetización química remanente.

En el caso específico que nos ocupa es preciso aclarar que la faja metamorfozada del occidente de Pinar del Río presenta un metamorfismo que tuvo lugar en el límite Paleoceno-Eoceno, periodo este que se caracterizó por una polaridad inversa, por esto y por lo planteado acerca de las causas del magnetismo remanente (Fundora, Pérez L. Y Pérez P., 1977), es posible considerar esta faja como la causa de la anomalía en cuestión, si se consideran además desplazamientos sinistral en la falla Pinar.

Hasta este punto solo se tiene esbozado un mínimo hacia el centro del perfil y una zona de máximo en la parte norte. En los primeros 8 km del perfil las ondulaciones de la curva se obtienen situando cuerpos superficiales con las características de Capdevila: dos cuerpos que crean dos dipolos que se superponen al polo sur regional en esta zona, para esto ya fue necesario hacer cambios en la forma de los cuerpos, específicamente de estos superficiales que tenían influencia magnética notable como también del cuerpo con magnetización remanente que está a mayor profundidad. Después de poner la posición final de los cuerpos se dieron valores de  $\kappa$  que ajustaron definitivamente la curva magnética.

Debido a los cambios realizados en la forma de los cuerpos el ajuste de la curva gravimétrica se vio afectado, sobre todo por las alteraciones de los cuerpos superficiales. En tanto la transformación del cuerpo metamorfozado que presuntamente provoca la anomalía regional, por estar a gran profundidad y ser sustituido en parte por otro de una densidad bastante parecida, no tuvo prácticamente influencia sobre la curva gravimétrica. Para rectificar esta alteración, se pusieron cuerpos superficiales que reajustaran el campo gravimétrico, pero con valores de susceptibilidad magnética que no determinaran influencias significativas en la distribución, del campo magnético, hasta aquí obtenida.

El modelo así obtenido fue el aceptado como modelo final (anexos gráficos 1,2 y 3). Como puede verse, está formado por 11 cuerpos y de forma general es posible dividirlo en tres bloques limitados por fallas profundas, el primero de estos contiene las secuencias de Bahía Honda, Sierra del Rosario, Sierra de los Órganos y el basamento cristalino. El segundo bloque que se encuentra hundido con respecto al primero presenta las secuencias de San Diego de los Baños, Sierra de los Órganos y basamento cristalino, el último bloque que es el más levantado de todos presenta las mismas secuencias que el anterior.

Los parámetros generales del modelo final fueron:

# de cuerpos: 11.

# de puntos en el perfil observado: 121.

Profundidad máxima: 20 km.

Intensidad del campo geomagnético: 46000 nT.

Inclinación del campo geomagnético:  $62^\circ$ .

declinación del campo geomagnético:  $0^\circ$ .

Azimut del perfil:  $180^\circ$ .

Altura de referencia: 0 km.

Intervalos de desplazamiento en el eje X y Y de la red en pantalla gráfica:  $0.2 \times 0.2$  km.

Los valores de las propiedades físicas para cada cuerpo se destacan en la tabla 1.4.

Este modelo se puede apreciar que presenta un ajuste bastante aceptable de las curvas calculadas a las observadas. En los límites del perfil el ajuste se pierde un poco debido a la influencia de los paquetes rocosos que quedan fuera del área del perfil, no obstante esta zona no es de mucho interés en este trabajo. El error cuadrático de la media, quitando el efecto de los bordes y tomando nada más que el área de interés (desde el km 1 hasta el km 20), para la parte gravimétrica da 10.96, mientras que para la parte magnética da 7.37.

Tabla 1.4 Propiedades físicas de los cuerpos definidos para el modelo final.

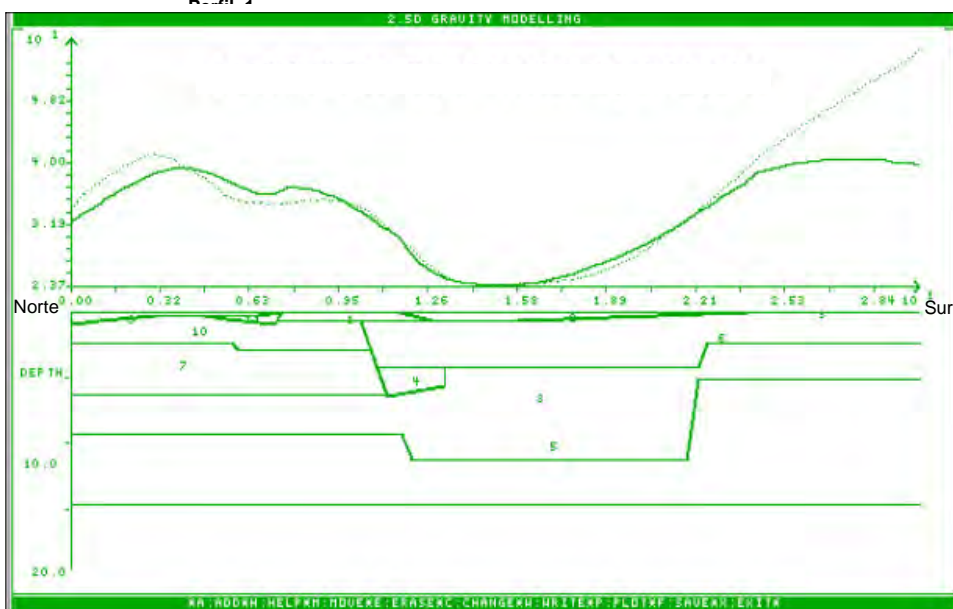
Cuerpo	Dens-efect	SuscM.efect
1	-0.1	-0.0001
2	-0.25	-0.0001
3	0.1	-0.00001
4	0.25	-0.014
5	0.3	0.00005
6	-0.021	0.0005
7	0.195	-0.0005
8	0.191	-0.0004
9	-0.15	-0.001
10	0.091	-0.0005
11	-0.2	-0.00002

## CONCLUSIONES

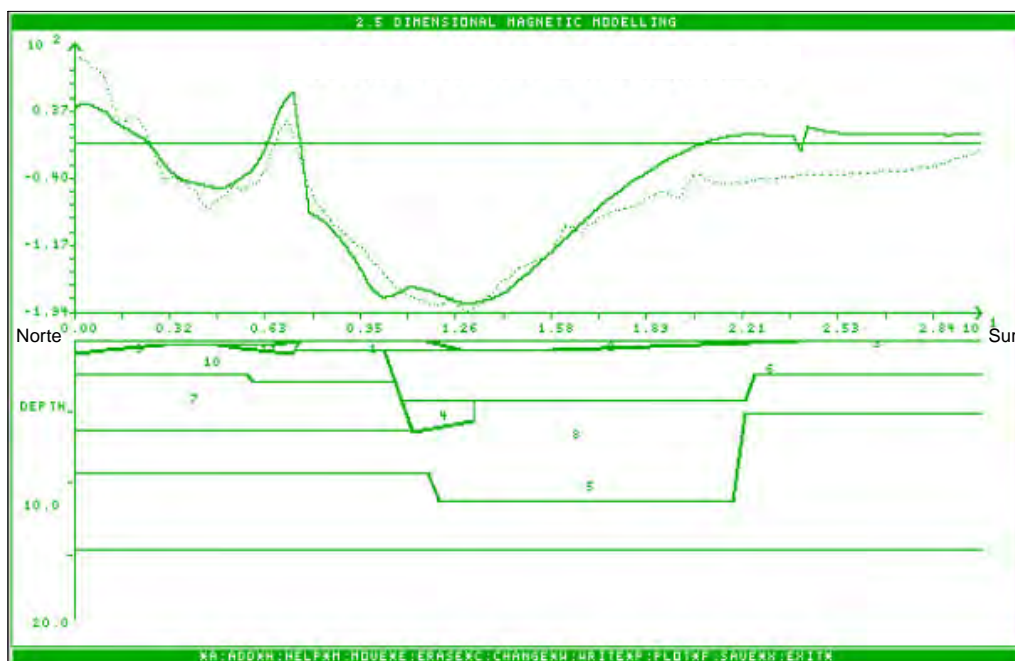
Los resultados presentados conducen a una serie de conclusiones que reafirman las ideas o teorías que han sido sustentadas, por diversos investigadores.

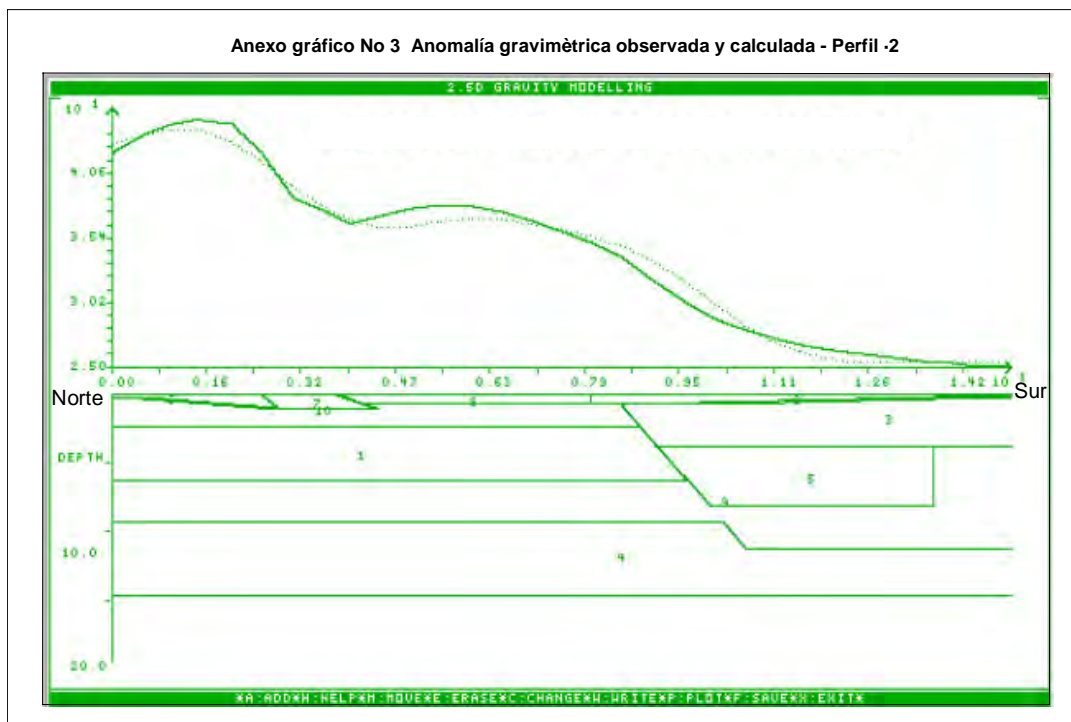
1. A partir del modelo físico geológico podemos deducir que el mínimo magnético en perfil 1 es la existencia en la profundidad de un cuerpo estratiforme metamorfozado con magnetismo remanente.
2. Considerando las características dadas al cuerpo responsable de la anomalía magnética que se modeló, es posible la correlación de dicho cuerpo con la faja metamorfozada del occidente de Pinar del Río.
3. La correlación del cuerpo metamorfozado, situado en el modelo, con la faja metamorfozada del occidente de Pinar del Río, implica un desplazamiento siniestro de la falla Pinar.

Anexo gráfico No 1 Anomalía gravimétrica observada y calculada -



Anexo gráfico No 2 Anomalía magnética observada y calculada - Perfil -1





Anexos gráficos 1,2 y 3, muestran las anomalías magnéticas y gravimétricas observadas y calculadas para los dos perfiles

## BIBLIOGRAFÍA

- Bralower, T.J., and Iturralde-Vinent, M.A., 1997. Micropaleontological dating of the collision between the North American plate and Greater Antilles arc in western Cuba. *Palaos*, 12: 133-150.
- Cobiella Reguera, J.L., Gil Gonzales, S., Hernandez Escobar, A., Díaz Díaz, N., 2000. Estratigrafía y Tectónica de la Sierra del Rosario, Cordillera de Guaniguanico, Cuba Occidental. *Minería y Geología Vol XVII*, (1),. Pag 5-15.
- Cofiño Arada, C.E., 2002. Características microestructurales de las secuencias del jurásico superior – cretácico y su relación con la potencialidad de hidrocarburos en la parte oriental de Sierra del Rosario. Tesis doctoral. Universidad de Pinar del Río.
- Franco Alvarez, G., Gonzalez Garcia, R., Recio Herrera, A., Furrzola Bermúdez, G., Delgado Damas, R., 1993. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. IGP. Ciudad de la Habana.
- Fundora Granda, M. Pérez Lazo, J. y Pérez Pacareu, L., 1977. Primeros datos del magnetismo remanente en ultrabásitas de la unidad tectónica de Pinar del Río. *Ingeniería en geodesia y geofísica*. ISPJAE. La Habana, Cuba.
- Fernández de Lara, R. y Díaz Valdez, O., 1986. Informe de las Propiedades Físicas de las Rocas (Densidad y Susceptibilidad Magnética) Polígono II. (documento inédito)
- Hatten, C.W., 1957. *Geologie report on Sierra de los Organos* (unpubl). Fondo Geol. (MINBAS), La Habana.
- Herrera, N.H., 1961. Contribución a la Estratigrafía de la Provincia de Pinar del Río. *Rev. Soe. Cub. Ing.*, 61: 22-44.
- Martínez, D., Vázquez, M., Chang, J.C., Denis, R., Fernandez, O., Fernández de Lara, R., Barrios, E., 1994. Generalización del mapa geológico a escala 1:100 000 del Occidente de Cuba. IGP, Ciudad de la Habana.





## **DEM SURVEY OF THE MACROSCALE GEOMORPHOLOGY AND THE TECTONIC STRUCTURES OF CUBA: METHODOLOGY AND IMPLICATIONS FOR THE MESO- AND CENOZOIC GEODYNAMICS OF THE NW-CARIBBEAN**

Max Sommer (1), Jorge Cobiella-Reguera (2), Ana Ibis Despaigne (2), Martin Meschede (1), Heiko Hüneke (1)

(1) *Institut für Geographie und Geologie, Universität Greifswald, F.L. Jahnstr. 17a, D-17487 Greifswald, Germany; E-mail: sommerm@uni-greifswald.de*

(2) *Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Martí final # 270, Pinar del Río, Cuba*

The ETOPO2, GTOPO30 and SRTM-3 datasets permit a medium and high resolution visualization of topographic and bathymetric features. Image processing of the digital elevation data emphasizes specific elements of the landscape and thereby facilitates a detailed search into the topographic and bathymetric data structure. Combined with satellite imagery and geologic mapping information the DEMs provide a rapid and effective way to map macroscale geomorphology and tectonic structures.

Any geodynamic reconstruction of the NW-Caribbean must consider relative motions of the North American, African, South American, and Farallon plates during the Mesozoic and Cenozoic. However, essential conclusions must be drawn from continental crust evolved and deformed during the Mesozoic and Cenozoic as well as from contemporaneous basin formations.

Cuba exposes the sedimentary, magmatic, metamorphic, and structural record related to the Northern Caribbean Suture Zone, where Cretaceous island arc complexes have been thrust onto the North American paleomargin during the (? late Cretaceous) Paleocene and Middle Eocene. The northernmost unit is the Mesozoic continental margin of North America. An ophiolitic belt is resting upon the southern part of the North American paleomargin. The accreted lithosphere to the south of the Northern Caribbean Suture Zone apparently evolved from an island arc environment. Commonly referred to as Volcanic Arc Terranes, these units comprise Cretaceous volcano-sedimentary strata as well as mafic metamorphic rocks and granitoids (Late Jurassic – Late Cretaceous). However, Jurassic graphitic meta-sediments with some concordant mafic intrusive rocks exposed in the Southern Metamorphic Complexes (Escambray massif, Isla de la Juventud) have been considered part of a Mesozoic continental margin.

The Mesozoic units extend more or less parallel to the axis of the present main island, but the structural pattern of the Cuban orogenic belt is transected by NE to ENE trending left lateral wrench faults. A macro fault blocks subdivision with probable position of suture line(s) is inferred from the mapping of tectonic structures and their coherence with basement structures in the Yucatan Basin. Evidently, the morphologically pronounced Pinar-, Matanzas-, Trocha- and Cauto Fault zones constitute parts of a superordinate fault system which dissects the Cuban orogenic belt into sigmoidal shaped crustal blocks. The fault block geometry suggests an isochronous proceeding of folding/thrusting and left lateral strike slip kinematics from west to east. Contemporaneously, a further Paleocene – Middle Eocene island arc system, commonly referred to as Sierra Maestra or Turquino Arc, developed in the south. Hence, the Paleogene island arc volcanics of southeastern Cuba are resting on the Cretaceous volcanic arc units and the ophiolitic belt. A north-dipping subduction zone associated to the Sierra Maestra Arc might have been a Paleocene – Middle Eocene precursor of the present day Cayman Trough fault zone.

In coherence with the current plate velocities and the geological record of the Cuban orogenic belt the proposed geodynamic model seems to approve an intra-American origin of the Caribbean plate.



## **SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL FALLAMIENTO Y SU PAPEL CONTROLADOR GASO-PETROLIFERO, EN LAS CUENCAS CENTRAL (CUBA CENTRAL) Y CALIFORNIA (CUBA CENTRO-ORIENTAL).**

**Carbeny Capote Marrero**

***Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril s/n, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana. E. mail: [carbeny@igp.minbas.cu](mailto:carbeny@igp.minbas.cu)***

### **RESUMEN**

La cartografía y la evolución del fallamiento de alto ángulo ( $>45^\circ$ ) para estas cuencas difiere a lo mostrado en el esquema estructural hasta ahora aceptado por los geólogos petroleros cubanos. Durante gran parte de la Orogenia Cubana ( $P_1$ - $P_2^1$ ), se formaron, junto con los sobrecorrimientos, fallas truncantes conjugadas sinistras (NE) y diestras (N-S). A finales de esta ( $P_2^2$ ), varió la dirección de los esfuerzos principales, evolucionando ahora algunas fallas NE como transpresivas y formándose fallas transtensivas NW y W.NW. Durante el Neoaútóctono ( $P_2^3$ -Q) continuaron transtensivas las fallas NW, a la vez que se renovó el comportamiento transtensivo de las NE.

En la Cuenca Central, una parte de los campos petrolíferos conocidos se asocia a las fallas regionales NE, mientras que el resto se encuentra en la intersección de este sistema con el N-S.

### **ABSTRACT**

ABOUT EVOLUTION OF FAULTING AND ITS OIL CONTROL ROLE IN CENTRAL AND CALIFORNIA BASINS, CENTRAL AND CENTRAL-EASTERN CUBA.

Lineaments cartography and evolution concepts about high angle faulting ( $>45^\circ$ ) for this basins differ from structural scheme until now accepted by Cuban petroleum geologists. During great part of evolution of Cuban Orogeny ( $P_1$ - $P_2^1$ ), were formed, synchronically with the overthrusts, conjugate right (N-S) and left (NE) strike-slip faults. In the Orogeny top ( $P_2^2$ ), changed direction of principal efforts, transforming then several NE lines to transpressive and being formed transtensive NW and W.NW lines. During Neoautochthonous ( $P_2^3$ -Q) continued transtensive NW lines and was renovated transtensive behaviour of NE ones.

In Central Basin, a portion of known oil fields is closely related to regional NE faults, and the rest occurs on intersections of elements from this system with N-S ones.

### **INTRODUCCION**

Dentro de la reevaluación del potencial petrolífero de las Cuencas Central y California, la aplicación del sondeo remoto contribuyó significativamente al mejor estudio de su estructura. Particularmente del fallamiento, cuya mejor comprensión resulta clave en el perfeccionamiento del modelo exploratorio, tanto en el sentido de si ciertamente es relevante como controlador de las acumulaciones, como en el de aclarar mejor su papel en la deformación de las áreas.

Por décadas, las concepciones y la cartografía del fallamiento de las Cuencas Central y California manejadas por los geólogos petroleros han sido sustentadas esencialmente en las interpretaciones de la sísmica y la gravimetría. No obstante, la consulta de los mapas geológicos y estructurales generados por los levantamientos geológicos de semidetalle acompañados de prospección de minerales sólidos permite observar en la superficie, como regla, un fallamiento mucho más denso, morfocinéticamente más complejo y con tendencias regionales diferentes de aquel mostrado en los materiales de los petroleros. Esta contradicción



ha motivado la idea de combinar ambas visiones, con el fin de obtener una mejor aproximación a la realidad. En este sentido, el uso de los sensores remotos surge como la mejor vía para generalizar naturalmente las distintas interpretaciones de superficie existentes, así como de extraer nuevos lineamientos del paisaje.

## MATERIALES Y MÉTODO.

El abordaje metodológico usado abarca: 1- Generalización de los levantamientos geológicos precedentes. 2- Procesamiento digital de imágenes TM-5 (*Thematic Mapper, Landsat-5*). 3- Interpretación de sus productos y de materiales aéreos. En la interpretación fueron extremadamente informativas las composiciones a color de principales componentes (PC<sub>s</sub>), creadas sobre las seis bandas de reflexión TM-5. También, el alto poder extractivo espectral de las PC<sub>s</sub> posibilitó la detección de algunas áreas fototonales anómalas, posiblemente relacionadas con la emanación de hidrocarburos.

Mapas geológicos precedentes: a escala regional Shein et al. 1984, Echevarría et al. 1991). A escala 1:250.000 (Kanchev et al. 1976, Belmustakov et al. 1981, Nagy et al. 1976). A escala 1:50.000 (Vázquez et al. 1993, Piñero et al. 1994, Piñero et al. 1995, Shevchencko et al. 1979). Otros trabajos consultados: Capote 1996 1999 2001.

Tanto las imágenes satelitarias como las aéreas presentan una óptima calidad, lo que significa una mínima nubosidad (menos del 3%) y una imagen nítida, sin ruidos, o manchas. Las Landsat-5 están en formato digital, contando con 6 bandas espectrales de reflexión, de 30 m de resolución espacial. Son materiales de última generación que permiten la generalización natural de una gran área, hasta la escala 1:100.000, así como la realización de procesamientos que aumentan la informatividad de las escenas sobre los más diversos aspectos de su geología. El procesamiento digital se hizo con el programa ER-Mapper, versión 6.1. Las composiciones a falso color (RGB, RGBI y HSI) de bandas simples fueron las más informativas para la interpretación litológica, mientras que las composiciones RGB y RGBI de principales componentes son las que permitieron una mayor extracción de información estructural, sobre todo en las áreas con mayor grado de enmascaramiento. Asimismo, su poder extractivo espectral mucho mayor posibilitó la detección de algunas áreas fototonales anómalas, posiblemente relacionadas con la emanación de hidrocarburos. En Drury (1993) y Crósta (1993), el lector puede encontrar una amplia información sobre el procesamiento digital de imágenes, mientras que en Capote (1999) se expone el análisis estadístico de las escenas usadas en la presente investigación, así como un estado del arte del uso de las imágenes TM de última generación en los estudios estructurales y la prospección gaso-petrolífera.

Los materiales aéreos consistieron en fotos a escala 1:37.000 (1971), fotoplanos a escala 1:50.000 (1973) (usados en el Bloque 21-A) y mosaicos controlados a escala 1:100.000 (1956) (usados en los sectores de Cuba Centro-Oriental). La resolución espacial de las fotos es de 0.5mx0.5m, y el de fotoplanos y mosaicos es alrededor de 1 m. Todos estos materiales están en papel. Las fotos, generalmente están en papel de peso sencillo, semimate y brillo; mientras que los restantes están en peso doble, semimate en el caso de los fotoplanos y de brillo en el caso de los mosaicos. Las fotos aéreas suministran informaciones complementarias básicas para la interpretación de las estructuras locales y regionales. Su interpretación se hizo mediante examen estereoscópico, pasándose sus resultados visualmente sobre los fotoplanos o los mosaicos, de acuerdo a la escala del mapa a obtener. Seguidamente, se integraron al mapa, por la vía digital/vectorial, los rasgos extraídos de las imágenes satelitarias. Finalmente, la



información extraída de las imágenes se confrontó con los resultados cartográficos geológicos pretéritos.

## RESULTADOS. DISCUSIÓN.

### Bloque 21-A, Cuenca CENTRAL.

El mapa geo-estructural a escala 1:50.000 hecho para el sector cubre unos 1400 km<sup>2</sup>.

El grado de interpretatividad geólogo-estructural de la región en las fotos aéreas es media, según la clasificación de tres grados (mala, media y buena). Esto se debe a la presencia de un relieve generalmente desmembrado, que ofrece algunos indicadores distintivos de litologías fundamentales, estructuras, principalmente las fallas, y lineaciones, que reflejan estratificación en las formaciones sedimentarias o bandeamiento en las ofiolitas. Asimismo, algunas litologías, tales como las calizas, algunas areniscas y las serpentinitas presentan una cierta aflorabilidad, lo cual adiciona elementos texturales a la fotointerpretación. El uso de composiciones a color TM/5 permitió aumentar sensiblemente la extracción de información del paisaje, fundamentalmente en el caso de los rasgos estructurales regionales.

A continuación, pasamos a describir los indicadores generales de interpretación usados tanto en las satelitarias como en las aéreas, en la separación de las litologías fundamentales, así como de las fallas y las lineaciones.

**Litologías fundamentales.** Ni en las satelitarias, ni en las aéreas es posible separar formaciones litoestratigráficas. En este sentido, lo distinguible, en el mejor de los casos, es el carácter carbonático, margoso o terrígeno de la unidad, y sus contornos generales, siendo necesaria la consulta de un mapa geológico para definir, o aproximarse, al nombre de la unidad en cuestión.

El carácter carbonático se expresa por la existencia de elevaciones, con superficie parcialmente carsificada, lo cual da un "careado" característico, con partes cimeras cubiertas por vegetación boscosa. Mientras, el carácter margoso se manifiesta por un área colinosa baja, de vegetación natural rala, o por un área llana, suavemente ondulada, cubierta parcialmente por cultivos. Por su lado, el predominio de lo terrígeno lo da un paisaje similar al del carácter margoso, pero manifestando además mejor las lineaciones que indican la estratificación, sobre todo cuando las secuencias son fundamentalmente de areniscas.

En el caso del arco cretácico, el desarrollo general de las secuencias vulcanógenas y vulcanógeno-sedimentarias, indiferenciadas (K<sub>1-2</sub>), es posible distinguirlo mejor allí donde el relieve está más desmembrado, debido a la textura rugosa y el abigarrado de los fototonos.

Sin embargo, resulta posible la distinción general de los complejos litológicos esenciales de las ofiolitas. Los complejos peridotítico y de transición se reflejan por un relieve colinoso bien marcado, con fototonos oscuros. Por su lado, el complejo cumulativo exhibe un relieve mucho más menudo, con fototonos claros. Mientras, el complejo de diques de diabasa se separa por un relieve aplanado, con microrelieve alineado, que refleja el bandeamiento.

**ESTRUCTURAS, Fallas .** Por su comportamiento morfocinético, son diferenciados dos tipos fundamentales de fallas: transtensivas y de sobrecorrimento. Por su jerarquía: transcortical, supracortical regional y supracortical local. Por el grado de seguridad en la interpretación:



segura y menos segura. Además, se observan reactivaciones en algunos sectores, cambiando drásticamente la morfocinética del elemento.

Los **cabalgamientos**, son distinguibles por:

Inversiones del perfil, amplias zonas de cizallamiento, ángulo bajo del plano, plegamientos intensos, trazos sinuosos. Escarpes residuales y "zonas de humedad" sinuosas en el paisaje.

Mientras, las **fallas transtensivas**, generalmente de ángulo mayor de 45°, se separan en atención a:

- Control local o regional de la sedimentação en las cuencas superpuestas y en la cobertura cenozoica. Dislocamiento de estructuras pretéritas. Pliegues de arrastre. Trazos rectos.
- En el paisaje, control nítido del drenaje de cualquier orden y reiteración en el desvío del rumbo de los ríos principales.

**Lineaciones:** Se observan fundamentalmente en las fotos aéreas, debido a su mayor resolución espacial. En el caso de la estratificación, esta tiene diversas formas de manifestarse. En las rocas terrígenas, está representada por microcrestas orientadas. En las secuencias margosas, cuando se ven, son suaves microcolinas, alargadas. Y en las rocas carbonáticas presentan dos formas: una, es la ocurrencia de microcuestas, mientras que la otra es la presencia de "bandas".

Los resultados de la interpretación de imágenes satelitarias cubre un área de unos 3000 km<sup>2</sup>. En el esquema estructural hecho se destaca:

- Ocurren 4 fallas transcorticales: TUINICU y LA TROCHA, de dirección NE; Boca Grande, N-S; y AXIAL (Bush & Sherbakova 1986, *in* Iturralde-Vinent (1996), de dirección W-E.
  - La falla AXIAL presenta aparentemente una importante componente vertical, distensiva. En su bloque sur deben aumentar de manera muy importante los espesores de las secuencias orogénicas y post-orogénicas. Por tanto, de esta forma se puede explicar el hecho, reportado por la geofísica petrolera, de que la parte meridional de la Cuenca es considerablemente más potente que la norte. Asimismo, la continuación hacia el oeste de la falla AXIAL debe tener también relación con la formación de la Cuenca Cabaiguán, sirviéndole de límite norte.
  - La geometría de las fallas LA TROCHA y Boca Grande sugiere una relación genética de par conjugado, al menos en el estadio temprano de su evolución.
  - La falla TUINICÚ sirve de límite regional entre dos tendencias direccionales diferentes en las fallas transtensivas. Al oeste, la dirección predominante es NW, mientras que al este, son NE y N-S.
  - En el bloque oeste, las fallas transtensivas coinciden muchas veces con las líneas de antiguos sobrecorrimientos orogénicos, lo cual hace pensar en el cambio de la dirección de los esfuerzos principales que actuaron sobre ese bloque.
  - En el bloque este, el trazo de las fallas NE es generalmente mucho más evidente que el de las fallas N-S. Esto puede obedecer a que los elementos de la primera dirección tuvieron una actividad intensa después que los de la segunda dirección cesaron de formarse.
- Por su lado, existen los siguientes comentarios del Mapa interpretativo geólogo-estructural, a escala 1:50.000 (Anexo I):
- El trazo de la falla LA TROCHA es difícil de observar, debido al enmascaramiento que producen el aplanado relieve y la cobertura de sedimentos jóvenes. Al SW, la ruptura se bifurca en dos elementos: Norte y Sur.
  - Es cartografiado un número elevado de rupturas N-S, la mayoría de trazo poco seguro. Las de mayor envergadura fueron localizadas, fundamentalmente, mediante la interpretación de las composiciones satelitarias.





- Los campos gaso-petrolíferos Jatibonico Oeste y Jatibonico se asocian a la intersección de la falla NE Jatibonico, con una zona de fracturación N-S. En la superficie de la zona de intersección se han formado morfoanomalías anulares en el drenaje, presumiblemente debidas a zonas de hundimiento provocadas por la fracturación intensa. Asimismo, los campos Cristales y Pina se desarrollan a lo largo de la falla LA TROCHA, en las intersecciones con la fallas N-S Guayacanes Oeste y Divorcio, respectivamente. En ambos cruzamientos ocurren ese tipo de morfoanomalías, pero de mayor tamaño. De esta forma, se amplía, pero en la misma dirección, las inferencias hechas por Capote (1999) sobre el valor como criterio de prospección gaso-petrolífera de la intersección de fallas NE y N-S.
- Utilizando este criterio, y la inferencia de espesores considerables de secuencias terciarias, que puedan servir de sello a los escapes de hidrocarburos, fueron localizados seis subsectores favorables gaso-petrolíferos: Mamonal Norte, Aurora, Carmen, Blanquizal, Mercedes y Aguacate. Mamonal Norte y Aurora se encuentran sobre el trazo de la Falla LA TROCHA, al cual se asocian dos campos gaso-petrolíferos importantes. Por su lado, Mercedes y Aguacate están en la falla Jatibonico, controladora de otros dos campos. Carmen y Blanquizal se alinean por la ruptura Marroquí, cuya envergadura se infiere como similar a F. Jatibonico.
- Con el fin de correlacionar el criterio estructural con el fototonal, los subsectores favorables se colocaron sobre las composiciones TM más informativas. De este modo se observó que en la composición RGBI de las principales componentes 4, 5, 3 y 1 (**Fig. 5**), los subsectores Blanquizal, Aguacate, Mercedes, Aurora y Mamonal Norte, o sea un 83%, presentan un aspecto anómalo con respecto al entorno inmediato. Por otro lado, la localización sobre la composición RGB de las bandas 1, 5 y 4 muestra un comportamiento anómalo en los subsectores Carmen y Aguacate.

### Cuenca California:

En las fotos aéreas, la región presenta un grado de interpretatividad malo, debido al aplanado relieve y al fuerte enmascaramiento del substrato, determinado este, fundamentalmente, por la potente capa de suelo y el alto nivel de antropización.

La aplicación del procesamiento en las TM permitió aumentar significativamente la cantidad de información estructural. No obstante, no se pudo acrecentar del mismo modo la referente a las litologías. Solamente las granodioritas y dioritas presentan algunos indicadores en las composiciones satelitarias que permiten la identificación de su área general de desarrollo.

El mapa interpretativo geólogo estructural de imágenes TM/5 de la región cubre unos 5.000 km<sup>2</sup>. Con respecto al fallamiento de la región, la inmensa mayoría de sus elementos es interpretada con poca seguridad, resultando el drenaje el indicador más utilizable para su trazo. No obstante, en la zona litoral la configuración de la costa y el control de los sedimentos cuaternarios son aspectos que ayudan también en la separación y clasificación de las rupturas.

La visión geólogo-estructural regional obtenida permite hacer los siguientes comentarios:

- La falla transcortical NE MINAS (Piñero *et al.* 1995) presenta un comportamiento siniestro importante, desplazando desde el norte las ofiolitas, varias decenas de kilómetros.
- Las fallas NE CANARIO (descrita más al SW por Shevchenko *et al.*, 1979) y NNW MANATÍ-BACONAO (Pushcharovsky *et al.*, 1989) forman aparentemente un par genético, por lo que es de esperar un comportamiento diestro en el segundo elemento.
- La falla supracortical regional WNW EL CAIMITO (Piñero *et al.* 1995) jugó, al parecer, un papel muy importante en la formación de la Cuenca CALIFORNIA. Numerosas fallas





supracorticales regionales se interpretan dentro y en las cercanías de la Cuenca, lo cual hace inferir sensibles variaciones en los espesores de los sedimentos de cobertura de los diferentes bloques así formados.

- Resumiendo, el fallamiento es mucho más complejo que el presentado anteriormente, tanto en los mapas de DIGICUPET, como en los de los levantamientos de semidetalle anteriores (1:50.000-1:100.000).
- Por otro lado, el hecho de no haberse descubierto aún acumulaciones gaso-petrolíferas de interés industrial en la región, impide contar en la misma con patrones de reconocimiento. Por tanto, se extrapola el criterio preliminar de favorabilidad usado en la Cuenca Central, o sea, el de intersección de direcciones NE y N-S. Fuera de los sectores marcados por el CLIENTE, está la intersección de las fallas transcorticales CANARIO y MANATÍ-BACONAO. De ser válido en la región este criterio, esta intersección puede basar un futuro reconocimiento del área.

**Sector San Miguel de Bagá.** El mapa 1:100.000 del sector abarca un área de unos 500 km<sup>2</sup>.

- La única falla importante de trazo seguro es la transcortical NE, MINAS. Su localización en las imágenes es clara, sobre todo en las satelitarias. Además, su carácter profundo fue bien definido por Piñero *et al.* (1995).
- Por otro lado, el único elemento N-S profundo detectado fue JACINTO, definida por Piñero *et al.* (1995). De difícil interpretación, su mejor localización se hizo mediante el examen de las composiciones satelitarias.
- Se localizan dentro del sector 5 subsectores favorables: Lugareño, Lourdes, La Doña, San Miguel y California. La localización de los mismos en las composiciones TM no permite detectar anomalías fototonaes para ninguno de ellos. Por otro lado, la búsqueda de subsectores mediante el uso exclusivo de esta vía, tampoco ofreció datos adicionales al análisis visual de favorabilidad.

**Sector Maniabón-La Farola.** El mapa 1:100.000 del sector abarca un área de unos 500 km<sup>2</sup>.

- El sector abarca dos bloques tectónicos. El occidental, está más cubierto por secuencias neoaútóctonas. Mientras, en el oriental afloran en la superficie complejos de arco y corteza oceánica sobrecorridos, pertenecientes a la zona Auras. En la limitación de los bloques participan las fallas NE Sirven Norte y N-S Puerto Padre.
- Han sido propuestos 4 subsectores favorables: Maniabón, Vázquez, Puerto Padre y Aguarás. Al igual que en el sector anterior, el procesamiento digital de las TM no ofreció anomalías fototonaes, indicadoras de emanaciones de hidrocarburos.

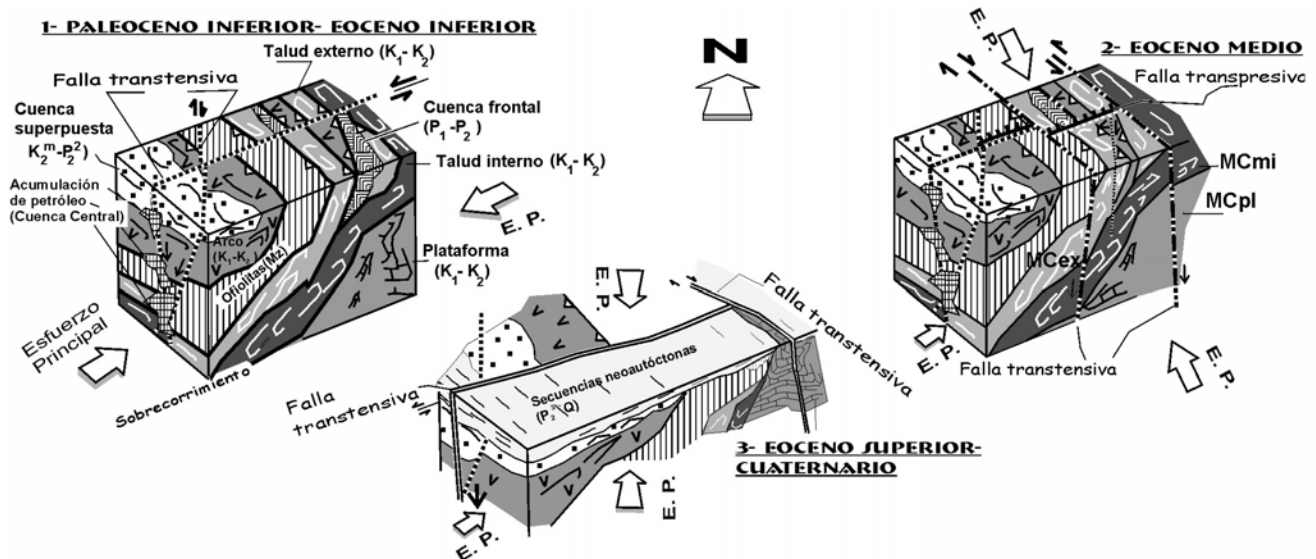
## CONCLUSIONES.

En la **Figura** se ilustra una propuesta de modelo evolutivo del fallamiento, el cual presenta diferencias con respecto al generalmente aceptado. Durante gran parte de la Orogenia Cubana, Paleoceno Inferior-Eoceno Inferior, se formaron, junto con los sobrecorrimientos, pares de fallas sinistras (NE) y diestras (N-S). No obstante, en sus finales, Eoceno Medio, variaron al parecer el carácter y la dirección de los esfuerzos principales, al menos en la parte norte de la Faja Plegada, formándose rupturas transtensivas NW y transpresivas NE. Durante el Neoaútóctono, Eoceno Superior-Cuaternario, continuó la formación de fallas transtensivas NW, pero se generaron también NE, de la misma naturaleza.

En la Cuenca Central, una parte de los campos petrolíferos conocidos se asocia a las fallas NE, mientras que el resto se encuentra en la intersección de este sistema con el N-S (Figura). A



partir de esta regularidad se marcaron 5 sectores favorables, dos de ellos coincidentes casi exactamente con áreas valoradas anteriormente como promisorias por detallamientos gravimétricos y sísmicos, siendo recomendable analizar la aplicación de estos criterios en la Cuenca California.



**Figura.** Modelo propuesto para la evolución del fallamiento en la región de las cuencas Central y California

## BIBLIOGRAFÍA.

- Capote, C. 1996. Falhas verticais de longa-vida, como um novo critério no prognóstico gaso-petrolífero em Cuba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1996. Anais...Salvador, SBG. v 5, p. 188-192.
- Capote, C. 1999. Análise do controle estrutural metalogenético em Cuba Centro-Oriental, com base em dados integrados. Tese de doutoramento. Instituto de Geociencias. Universidad de Sao Paulo. Biblioteca del IGP. 220 p..
- Capote, C. 2001. Sobre la evolución y el papel mineragénico del fallamiento en el territorio Matanzas-Tunas. In: IV Congreso de Geología y Minería, Ciudad de La Habana, marzo del 2001. Proceedings...
- Despaine, P. et al. 1994. Mapa estructuro-tectónico, a escala 1:100.000. In Vázquez, C.; et al.. INFORME DE LOS TRABAJOS DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO EN EL POLÍGONO CAME LAS VILLAS III (CUBA-BULGARIA), PROVINCIA DE VILLA CLARA, SANTI-SPÍRITUS Y CIEGO DE ÁVILA, A ESCALA 1:50.000. Empresa Geológica de Villa Clara (inédito): Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Echevarría G. et al. 1991. Oil and gas exploration in Cuba. **Journal of Petroleum Geology**. 14, (3): 259-274.
- Kánchev I. et al. 1976. **Informe de los trabajos de levantamiento geológico de la provincia de Las Villas, a escala 1:250.000**. Instituto de Geología, Academia de Ciencias de Bulgaria; Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Archivo del IGP, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana. 820 p.
- Nagy, E. et al. 1978. **Informe de los trabajos de levantamiento geológico de las antiguas provincias orientales, a escala 1:250.000**. Instituto de Geología, Academia de Ciencias de Hungría; Instituto de



- Geología y Paleontología (IGP), Academia de Ciencias de Cuba. Inédito. Archivo del IGP, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana. 800 p.
- Piñero E. et al. 1994. **Informe de los trabajos de levantamiento geológico en el polígono Ciego-Corojo (Cuba-RDA) , provincia de Camagüey, a escala 1:50.000.** Empresa Geológica de Camagüey (inédito): Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Piñero E. et al. 1995. **Unificación de los materiales de los levantamientos geológicos a escala 1:50.000 de los polígonos CAME (Cuba-RDA) de las provincias Ciego de Ávila y Camagüey, escala 1:100.000.** Empresa Geológica de Camagüey, Camagüey, Cuba; (inédito). Archivo da Empresa Geólogo-Minera de Camagüey. Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Shein, V. S.; et al.; 1984. **Mapa Tectónico de Cuba, a escala 1:500.000.** Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, Ciudad de La Habana.
- Shevchenko, I. et al. 1979. **Informe de los trabajos de levantamiento geológico en la región Martí-Tunas, a escala 1:100.000** (inédito): Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Vázquez, C. et al.; 1993. **Informe de los trabajos de levantamiento geológico en el polígono CAME Las Villas III (Cuba-Bulgaria), provincia de Villa Clara, Santi-Spíritus y Ciego de Ávila, a escala 1:50.000.** Empresa Geológica de Villa Clara (inédito): Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de la Industria Básica, Ciudad de La Habana, Cuba.



## **SOBRE LAS CONDICIONES GEODINAMICAS Y CINEMATICAS DEL ORIGEN Y EVOLUCION DE CUBA.**

Dr. FORMELL CORTINA Francisco de Asis.

### **RESUMEN**

La formación de Cuba se inicia en el Jurásico medio a partir de un sistema riftogenético que provoca el desprendimiento de uno o mas bloques del borde septentrional del Cratón Suramericano. Paralelamente surgió también un vulcanismo sincrónico al Sur de los bloques desprendidos a partir de una zona de subducción que buzaba al Norte.

Este sistema, debido al movimiento rotacional anti-horario de la Placa Caribe que se desarrollaba al unísono con la separación de las Américas, describió un semicírculo durante el cretácico que lo llevó primero a dar la cara al Atlántico y por último a acercarse a la Placa de Norteamérica en el Precampaniano.

Coincidiendo con el comienzo de un retardamiento en el proceso de separación de las Américas, el sistema de Arco de Islas Volcánico-Bloques Microcontinentales comienza a colisionar a la Placa de Norteamérica cizallándola, y provocando la sutura paulatina de la zona de subducción de buzamiento entonces hacia el Sur y el surgimiento de un cambio brusco en la polaridad de la subducción. Como consecuencia se crea una nueva zona de subducción de corta vida de buzamiento Norte.

Estos procesos dan lugar a la extinción gradual de Oeste a Este del vulcanismo Jurásico-Cretácico, al surgimiento de intrusiones de granitoides en Cuba Central, al metamorfismo de subducción de la Cuña del Escambray y del Complejo de Mabujina, al emplazamiento gradual de Oeste a Este de los complejos de subducción ofiolíticos, al alineamiento de los Complejos de Arco y Antearco según la dirección de la cizalla y a la formación de sistemas de bloques de dirección noreste separados por depresiones de igual dirección dispuestos en "echelon" como consecuencia de la formación, a partir de la cizalla diestra de un sistema siniestro compresivo-tensional de tipo "bookshelf".

Al comienzo del Paleógeno, se crea al suroeste, un sistema de rift que da origen a la Cuenca de Yucatán. Paralelamente, al Sur de ese sistema, surge un nuevo Arco de Islas Volcánico que se mueve hacia el noreste siguiendo el movimiento general hacia el Este de la Placa Caribe que había comenzado en el Paleoceno.

El borde oriental de este nuevo sistema de Arco Volcánico del Cenozoico Temprano va a colisionar en un momento cercano al Eoceno Medio con los fragmentos mas orientales del Arco de Islas Volcánico Protocubano del Jurásico-Cretácico. Esa colisión ocurre a través de grandes fallas transformantes del Caribe Septentrional. Esas fallas se mantienen activas aún hoy en día.

### **ABSTRACT**

The origin of Cuba started in middle jurassic with a temporal rift system that generated the breaking of one or probably more blocks from the northern boundary of South American Cratón. At same time, synchronic volcanic activity took place due to a northward dipping subduction zone located to the south of the blocks. This system due to a counterclockwise movement developed sinchronically with the opening of the Americas described almost a half circle during the cretaceous time that took it first to face the Atlantic ocean and afterward to approach Northamerican Plate in precampanian time.

Coinciding with the slowness of the opening process of the Americas the protocuban volcanic island arc-microcontinental blocks system started to collide the Northamerican Plate, shearing it and causing the closing and suture of the subduction zone then dipping southward. As a consequence, a sharp change of the polarity of the subduction and the creation of a new short lived subduction zone dipping northward occurred.

The above catastrophic events gave place to a gradual extinction (from west to east) of jurassic-cretaceous volcanism, the intrusion of granitoids in central Cuba, the subduction metamorphism of Escambray and Mabujina Complex, the gradual emplacement (from west to east) of Ophiolitic subduction complexes, the aligning of the arc-backarc systems according to the shearing direction and the consequently formation of a northeast trending system of blocks separated by depressions in an "en echelon" pattern due to a dextral shearing coming from a sinistral bookshelf type compresional-extensional system.



At the beginning of Paleogene and to the southwest of "Cuba" a rift system gave place to the origin of Yucatán Basin. To the south of this system a new parallel volcanic island arc started moving to the northeast following the eastward trend movement of Caribbean Plate that had begun in Paleocene.

The eastern edge of this Cenozoic volcanic island arc collided very probably during middle eocene with fragments of Protocuban cretaceous volcanic island arc.

That collision took place along major transform faults of northern Caribbean. Those faults are still active today.

## DISCUSIÓN

Sobre el origen y evolución de Cuba como parte del arco de islas de las Grandes Antillas, existen en la literatura las mas disímiles posiciones. Desde las posiciones fijistas que postulan un desarrollo "in situ" de Cuba (Butterlin, 1956; Furrázola Bermudez y otros, 1964; Judoley, 1971), hasta las posiciones moviistas abrazadas por la mayoría de los geólogos del Caribe (Hess, 1966; Donnelly, 1967; Sikes y otros, 1982; Freeland y Dietz, 1972; Malfait y Dinkelman, 1972; Pindell y Dewey, 1982; Case y otros, 1984; Stephan y otros, 1990; Pindell y Barrett, 1990 etc).

La cuestión acerca de donde se originó al arco de islas de las Grandes Antillas también suscita divergentes opiniones. Un grupo plantea un origen Pacífico de las Grandes Antillas (Malfait y Dinkelman, 1972; Stephan y otros, 1990; Pindell y Barrett, 1990 etc), mientras otro grupo plantea un origen Caribe (Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989; Donnelly, 1975; Iturralde Vinent, 1975; Pszczolkowski y otros, 1976 etc).

Por otra parte un grupo de investigadores considera que las Grandes Antillas pertenecieron originalmente a un mismo sistema de arcos de islas independientes de las Antillas Menores (White y Burke, 1980; Sykes y otros, 1982; Pindell y Dewey, 1982; Coney, 1983), mientras otros consideran que tanto el arco de las Antillas Mayores como el arco de las Antillas Menores constituyeron un único sistema de arco de islas volcánico (Stephan y otros, 1990).

Por último hay que señalar, que dentro del grupo que considera un origen Caribe para Cuba y las Grandes Antillas, una parte supone su origen a partir de sistemas de rift como desprendimientos de América Central (Freeland y Dietz, 1972; Iturralde Vinent, 1975; Pszczolkowski, 1987), mientras otros, como desprendimientos desde el borde septentrional del continente suramericano (Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989).

Estas consideraciones, se deben sobre todo, a la necesidad de explicar la proveniencia de las facies existentes en los depósitos del Jurásico inferior a medio que se distribuyen ampliamente en Cuba occidental y Sur central, pero sin embargo, estos diferentes puntos de vista no son esenciales puesto que según algunas reconstrucciones paleogeográficas, la parte noroccidental de América del Sur podría haber estado enlazada con el área de Honduras y Nicaragua en el jurásico temprano al medio (Freeland y Dietz, 1971).

Esencialmente hay concordancia en los geólogos que consideran un origen Caribe para Cuba y las Grandes Antillas en que los procesos se originaron probablemente en el **jurásico medio** por el surgimiento de un sistema de estructura riftogenética con vulcanismo sincrónico (Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989; Pszczolkowski, y otros, 1987). Para los primeros, en el margen septentrional de América del Sur, dada la similitud entre las secuencias terrígenas y carbonatadas de Cuba occidental y Sur central con las rocas del grupo Caracas que se desarrollan a lo largo de la costa Norte de Venezuela y para los segundos se sugiere el área de América Central.





Las facies diferenciales del **jurásico superior** en Cuba occidental indican que la Sierra de los Organos pudo separarse en ese tiempo (Pszczolkowski, y otros, 1987).

Esta estructura riftogenética con vulcanismo sincrónico comenzó a desarrollarse con toda probabilidad por Cuba occidental debido a que está comprobada la actividad volcánica **jurásica pre-oxfordiana** en la Sierra de los Organos (Piotrowski, 1976) la cual constituye la manifestación mas antigua de vulcanismo registrada en el territorio de Cuba.

De acuerdo con Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989, el proceso de riftogénesis que comenzó en el **jurásico medio** continuaba durante el jurásico superior (fig 3). Se formaban nuevas fosas cuyo número y dimensiones tendían a aumentar.

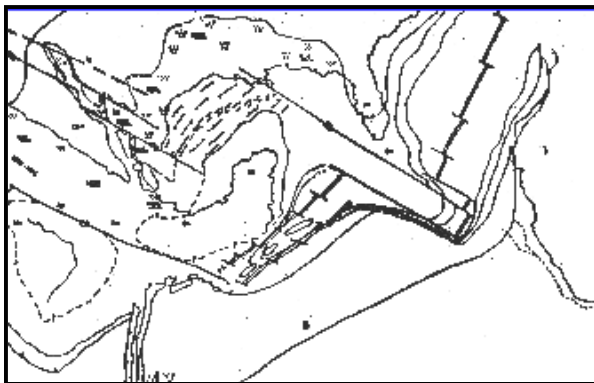


Figura 1. Oxfordiano/ Kimmerigiano (después de Stephan et al, 1990, modificado)

Como resultado de los procesos destructivos tuvo lugar en el **jurásico tardío- cretácico temprano** la formación de una cuenca oceánica. La destrucción del margen continental de Suramérica y el comienzo de la expansión en la cuenca oceánica condicionó el acarreo y traslado de un gran bloque continental o un grupo de bloques; pero a diferencia de las concepciones de Mossakovsky considero que el sistema de arco de islas volcánico protocubano se formó al sur del bloque o los bloques desprendidos del margen septentrional de Suramérica con una zona de subducción que buzaba al Norte.

Este sistema de arco de islas-microcontinente comenzó a moverse primeramente hacia el Este como sugirió Donnelly, 1969, y a medida que las Américas se alejaban una de la otra durante el **cretácico inferior-superior** (fig.4) este sistema se movía consecuentemente al noreste, al Norte, y por último al noroeste siguiendo una trayectoria semicircular debido a un movimiento constante de tipo rotacional levogiro de la Placa Caribe que lo llevaría a acercarse a la Placa norteamericana en el **cretácico superior**.

El análisis paleofacial de las secuencias de la superzona meridional de Cuba (Pszczolkowski, y otros, 1987; Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989) y del llamado leptogeosinclinal cubano (Knipper y Cabrera, 1974) es consistente con este razonamiento.

En Cuba occidental, durante la etapa "miogeosinclinal" (Pszczolkowski, y otros, 1987) pueden ser distinguidas tres diferentes fases de sedimentación:

- 1.- **La fase de facies deltaica** del jurásico inferior a medio, es decir, la fase de pre-rift.
- 2.- **La fase de facies carbonatada** de mar poco profundo del jurásico superior-cretácico inferior.



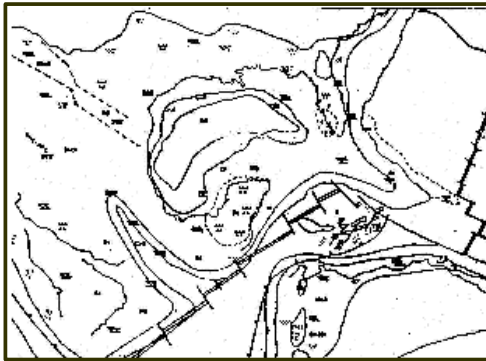


Figura 2. Aptiano (después de Stephan et al, 1990, modificado)

Esta es la etapa del comienzo del rift y de la formación de la cuenca suboceánica durante los procesos destructivos en el margen septentrional del continente suramericano.

En esta etapa se separa el bloque o los bloques del margen de América del Sur y se establece un sistema de arco de islas volcánico al sur.

### 3.- La fase de facies pelágica.

Las dos primeras fases representan los depósitos mas potentes, pero la fase pelágica fue la mas persistente y duró sobre los 80 MA (Pszczolkowski, y otros, 1987).

Los depósitos pelágicos, principalmente calcáreos del tithoniano al cretácico superior estuvieron vinculados con el desarrollo de la corteza oceánica del Atlántico (Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989). En el área de la Sierra de los Organos ellos fueron depositados en una plataforma submarina que limitaba con cuencas mas profundas. Los depósitos silíceos y arcilloso-silíceos de la Sierra del Rosario se acumularon en estas cuencas, las cuales limitaron el influjo de material terrígeno y de aguas poco profundas (Pszczolkowski, y otros, 1987), por eso, el reconocimiento del área de la Sierra de los Organos como una fosa oceánica marginal (Iturralde Vinent, 1975) es discutible, mas bien, aquella región es correlacionable con el leptogeosinclinal de Cuba Central como fue descrito por Knipper y Cabrera, 1974.

De acuerdo con lo anterior, durante el **cretácico inferior-cretácico superior** el sistema de arco de islas volcánico protocubano era convexo hacia el Este, hacia el Atlántico y poseía una zona de subducción que buzaba al Oeste. El microcontinente desprendido de América del Sur se movía junto con el sistema de arco de islas al Oeste del mismo en un movimiento rotacional transpresivo constante, por esa razón, persistían durante tiempo tan prolongado los sedimentos de facies pelágicas que se acumulaban en la cuenca oceánica que se desarrollaba al Este y Noreste del sistema. Como puede observarse, estas consideraciones están de acuerdo con los razonamientos de Donnelly, (1964, 1967) para el límite oriental del arco de las Grandes Antillas (Puerto Rico e Islas Vírgenes) el cual postuló una convexidad hacia el Atlántico de ese segmento del arco.

De esta manera, los argumentos de Donnelly para apoyar sus puntos de vista, son por tanto igualmente válidos para apoyar el nuestro. Meyerhoff, 1971, también señaló que las Grandes Antillas originalmente, muy probablemente eran convexas hacia el Sur; Mattson, 1973, y Mattson y Possagno, 1979 (en Pindell y Barrett, 1990), por su parte, señalan que aunque la polaridad temprana del arco (Grandes Antillas) es desconocida, el complejo ultramáfico de Bermeja en Puerto Rico puede ser corteza oceánica acrecida al lado Sur antes del campaniano, sugiriendo una polaridad de cara hacia el Sur. Después del **santoniano o campaniano**, el arco

estuvo definitivamente mirando al Norte como se indica por los complejos de subducción ultramáficos a lo largo del lado Norte del arco (Case y otros, 1984).

Cuba, que en el cretácico superior pre-campaniano ocupaba la posición mas septentrional del arco de las Grandes Antillas se aproxima al Cratón de Norteamérica con un movimiento rotacional transpresivo levogiro, en ese momento de dirección noroeste, y con toda probabilidad comienza a colisionar con el borde Sur del Cratón “resbalando” y cizallandolo al comienzo del campaniano o quizás un poco antes (fig. 3).



Figura 3. Campaniano (después de Stephan et al, 1990, modificado)

Este momento coincide con el retardamiento que ocurre en el movimiento divergente entre la América del Norte y del Sur que venían separándose rápida y constantemente desde el jurásico medio (Stephan y otros, 1990). Este importante retardamiento lo sitúan Stephan y otros, 1990, alrededor de los 80 MA, además la información geológica regional evidencia importantes colisiones durante el campaniano.

El cizallamiento de Cuba contra el Cratón de Norteamérica ocurre paulatinamente de Oeste al Este del sistema arco de islas-microcontinente, el cual se movía en dirección noroeste. Este cizallamiento gradual provoca varios hechos geológicos trascendentales en Cuba.

**1.- En primer lugar:** El alineamiento de las estructuras de los terrenos en cizallamiento, es decir, las estructuras de los terrenos del microcontinente, arco, ante y retro arco y del borde Sur del Cratón, según una forma general arqueada.

**2.- En segundo lugar:** El surgimiento de un sistema de fallas transversales de desplazamiento horizontal siniestro que provocó el seccionamiento del sistema en una serie de bloques dispuestos en “echelon” (escalón), surgidos en relaciones de tectónica transformante compresiva (transpresión). Los sectores entre los bloques devinieron en una serie de cuencas donde comenzaron a depositarse potentes secuencias de sedimentos.

La formación de tal sistema fallado de desplazamiento horizontal siniestro con formación de bloques dispuestos en “echelon”, está propuesto por Freund (1970) como cizallamiento de tipo

“bookshelf” para bloques cizallantes en relaciones transformantes diestras que provocan la formación de un sistema de bloques con relaciones transformantes siniestras y disposición general en “echelon” tal y como se desarrollan en Cuba (figs 4, 4.1 y 5).



Figura 4. Fallamiento transversal siniestro por cizallamiento tipo bookshelf en Cuba a partir del campaniano.

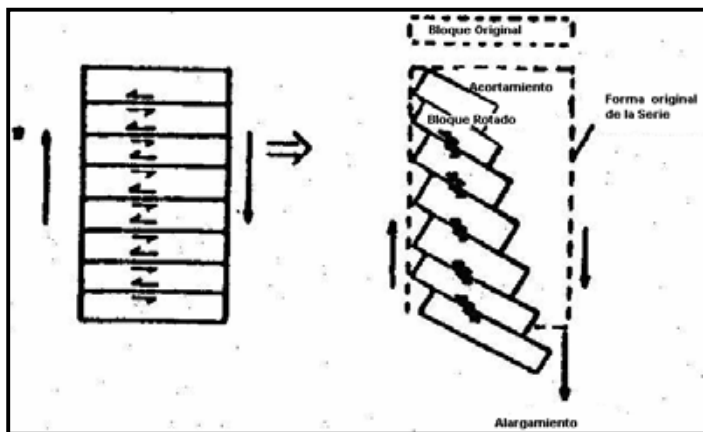


Figura 4.1. Cizallamiento bookshelf vista en planta según Freund. 1990



Figura 5. Estructura del Archipiélago Cubano. La formación de Cuba (Según Antonio Núñez Jiménez)

Skvor, 1969 y Case y Holcombe, 1980 al efecto señalan, que aunque no hay diacronodeidad fuerte de la época de colisión a lo largo de la dirección, la existencia del sistema de fallas de

desgarre siniestras en Cuba puede indicar una sutura ligeramente oblicua, progresiva de dirección hacia el Este, (fig 6).

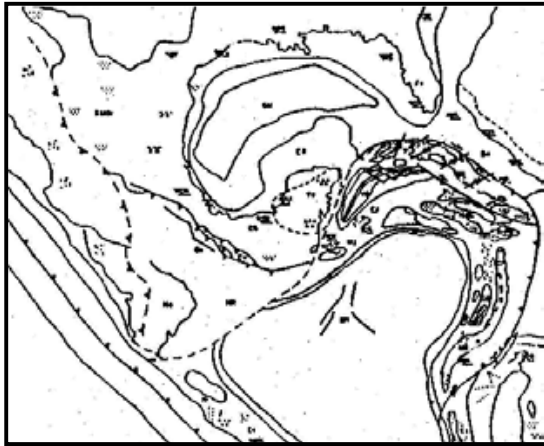


Figura 6. Maestrichtiano (después de Stephan et al, 1990, modificado)

Como se ve ahora, los argumentos utilizados por Meyerhoff (1971) para discrepar de la idea de Donnelly sobre la convexidad de las Grandes Antillas Orientales hacia el Atlántico de que la forma presente de Cuba fue determinada en lo fundamental por eventos orogénicos del cretácico tardío y más jóvenes particularmente fallamiento transversal y de bloques, en realidad no tiene ninguna contradicción con las opiniones de Donnelly, si consideramos un movimiento rotacional levogiro, transpresivo constante de Cuba y del resto de las Grandes Antillas durante todo el cretácico.

**3.- En tercer lugar:** Va ocurriendo la extinción del vulcanismo gradualmente del Oeste al Este por la sutura paulatina de la zona de subducción en la misma dirección.

**4.- En cuarto lugar:** La sutura de la zona de subducción de buzamiento al Sur provoca la brusca inversión de la polaridad de la zona de subducción en Cuba Central y se crea entonces una nueva zona de subducción de corta vida con buzamiento Norte que permite la intrusión de grandes cuerpos de granitoides y el metamorfismo de subducción de las secuencias oceánicas de Mabujina y el Escambray.

**5.-En quinto lugar:** Se forman también a partir del campaniano cuencas superpuestas sobre el arco donde se acumulan depósitos de moladas.

**6.- En sexto lugar:** La ascensión a la esfera de erosión de los complejos de subducción ultramáficos también es una consecuencia del cizallamiento paulatino de Cuba contra el Cratón de Norteamérica a partir del campaniano. Las evidencias geológicas señalan una edad del emplazamiento de las ultramafitas que varía de las mas viejas al Oeste hasta las mas jóvenes al Este, (a excepción de aquellas de la región Nipe-Cristal-Baracoa, Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989; Pindell y Barrett, 1990).

**7.- En séptimo lugar:** Sincrónicamente, y desde el comienzo del campaniano ocurre la colisión del bloque continental de la superzona meridional con el arco de islas volcánico protocubano (Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989) con lo cual se relaciona consecuentemente también, el surgimiento de la nueva zona de subducción de buzamiento Norte.

En Cuba occidental, por donde comenzó el movimiento de cizallamiento, la carencia de depósitos cretácicos del campaniano y pre-campaniano en algunas partes de la Sierra del Rosario es una evidencia de movimientos tectónicos pre-maestrichtianos, (Pszczolkowski, y otros, 1971b, 1977a), de igual modo, las brechas del cretácico superior y la formación Cacarajícara pueden considerarse resultado de la tectónica del cretácico tardío al paleógeno (Pszczolkowski, y otros, 1977a). La formación de estas brechas es consistente con la idea de un cizallamiento prolongado en la región septentrional de Pinar del Río y atestigua que en esta época la secuencia septentrional de Sierra del Rosario se encontraba cerca del margen meridional de la Plataforma de Bahamas.

La formación de brechas y olistostromas monomícticos y polimícticos en la zona "miogeosinclinal" de Cuba Central vinculada con movimientos de cizallamiento y sobrecorrimientos ocurrió posteriormente a partir del paleoceno (Formaciones Grande, Vega y Vega Alta).

Por otra parte, el emplazamiento de las ultramafitas comienza por Cuba occidental. Sobre esto atestigua la presencia de rocas efusivas e intrusivas básicas y ultrabásicas en los conglomerados de la Formación Vía Blanca del campaniano-maestrichtiano, que se observan bien en el área comprendida entre el río San Miguel y el río Las Pozas al Sur de la carretera hacia Bahía Honda en Pinar del Río (fide Furrázola-Bermúdez comunicación escrita, 1992). También en áreas alrededor de la ciudad de La Habana, los conglomerados Bahía y Río Piedras de la Formación Vía Blanca contienen clastos de efusivos y de intrusivos de composición básica y ultrabásica (Bronnimann y Rigassi, 1963). Con excepción del bloque de Cuba oriental (al Este de la Zona de Cauto-Nipe) que tuvo otro desarrollo, el emplazamiento de las rocas de la asociación ofiolítica ocurrió paulatinamente de Oeste a Este a partir del campaniano o algo antes y hasta el eoceno medio.

Además del sistema de fuerzas de la cizalla transformante de dirección levogira que provocó el "resbalamiento" del arco de islas volcánico protocubano contra el borde Sur del Cratón de Norteamérica a partir del **campaniano** y delineó los rasgos primarios de las direcciones estructurales principales de Cuba (Pinar y Cubana), en el paleógeno temprano (55 a 65 MA), de acuerdo con los datos de la reflexión sísmica, flujo calórico y las relaciones de edad-profundidad, (Rosencrantz y otros, 1989) surge una cuenca de expansión intra-arco según el modelo de Gealey, 1980, la Cuenca de Yucatán. La dirección noreste de las anomalías magnéticas posiblemente relacionadas con la expansión del fondo oceánico sugieren una dirección noroeste-sureste de la expansión (Hall y Yeung, 1980).



Figura 7. Cuenca de Yucatán.





En el análisis de las relaciones entre Cuba, Norteamérica y el Caribe (Cresta de Caimán) con la Cuenca de Yucatán, Pindell y Barrett, 1990, señalan que asumiendo que la Cuenca de Yucatán es una cuenca intra-arco entre Cuba y la Cresta de Caimán, entonces la porción de Cuba relacionada con el arco (al Sur del cinturón ofiolítico) debe haber migrado en dirección noreste a lo largo de una transformante, el margen Este de Yucatán. Sin embargo, la dirección del margen Este de Yucatán es discordante con la dirección de apertura de la Cuenca de Yucatán sugerida por las anomalías magnéticas.

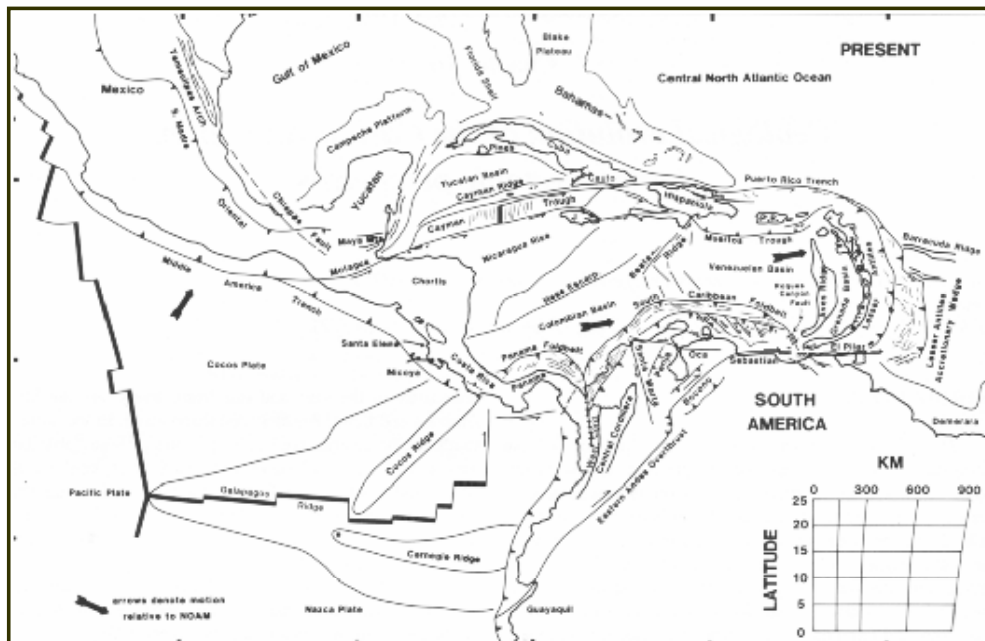


Figura 8. Geografía de la placa Caribe (después de Pindell y Barret, 1990)

De esta manera, hace falta un modelo de tres Placas que envuelva a Cuba, Norteamérica y la Cresta de Caimán para resolver la cuestión. Este modelo sugiere que la Placa Caribe (Cresta de Caimán) migró alrededor de 377 Km al Este-noreste con respecto a Norteamérica durante la formación de la Cuenca de Yucatán mientras que Cuba al mismo tiempo migraba al Norte-noroeste respecto al Caribe sobre un Polo cercano a la Cuenca del Cauto (Pindell y Barrett, 1990).

De esta manera, el surgimiento y desarrollo en el **paleógeno temprano** de la Cuenca de Yucatán crea un sistema de fuerzas adicional que lleva a la compresión en dirección noreste de Cuba contra el Cratón norteamericano y es responsable de los movimientos de sobrecorrimiento en dirección transversal a las estructuras primarias de Cuba que ya estaban delineadas por la cizalla que comenzó en el pre-campaniano. Por eso en toda Cuba las unidades tectónicas del paleógeno son prácticamente paralelas a las principales zonas faciales del mesozoico debido a que el transporte tectónico fue mas o menos perpendicular a la dirección de estas zonas faciales mesozoicas.

Según todo lo anterior, se puede afirmar que ya en el paleoceno estaban completamente establecidas las direcciones estructurales Pinar y Cubana y además el fracturamiento en bloques de Cuba por el desarrollo del sistema fallado siniestro de dirección noreste producto del cizallamiento tipo "bookshelf", pero los movimientos de sobrecorrimientos en Cuba continuarían con intensidad hasta el eoceno medio.





Cuba oriental, (al Este de la zona de Cauto-Nipe) por su parte, tuvo al final del cretácico y durante el paleógeno temprano y medio un desarrollo diferente al resto de Cuba como lo evidencian los diferentes estilos de deformación tectónica al Oeste y al Este de la zona de Cauto- Nipe que parece ser una ruptura estructural fundamental, al Oeste de la cual la Plataforma de Bahamas está envuelta en los sobrecorrimientos mientras que al Este, a pesar de que las ofiolitas aparecen obducidas y los melanges ocurren, los depósitos carbonatados de la Plataforma, aparentemente, no están sobrecorridos significativamente (Pindell y Barrett, 1990).

Un campo gravitacional mas positivo al Este de Cauto-Nipe (Bowin, 1976; Case, 1980) también indica menos envoltura de los sedimentos de Bahamas. Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989, interpretan estas fuertes anomalías gravitacionales positivas con la formación en el campaniano-maestrichtiano de un diapiro mántico sobre el cual se formó una cuenca riftogenética suboceánica de corta duración durante el maestrichtiano-paleoceno la cual estuvo sujeta a los mismos procesos que llevaron a la formación de la Cuenca de Yucatán.

Otro rasgo notable que diferencia a Cuba oriental del resto, es el desarrollo único en esa región en el cenozoico temprano (paleógeno) de la zona estructuro-formacional de la Sierra Maestra que ocupa una posición bruscamente discordante y bajo un ángulo agudo corta y se superpone sobre los fragmentos meridionales del arco volcánico protocubano del cretácico los cuales entran en su fundamento plegado (Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989).

Sobre las condiciones de formación del arco de islas volcánico del paleógeno en Cuba oriental existen diferentes puntos de vista en la literatura.

1. Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989, por ejemplo, proponen, sobre la base del alineamiento en el borde sur de la zona de la Sierra Maestra de aparatos volcánicos de tipo central y de macizos erodados de granitoides, y por otra parte de sedimentos de facies terrígenas vulcanomícticas alineadas en el borde Norte de la zona, la existencia de una zona paleosismofocal en el borde Sur del arco volcánico paleógeno con su correspondiente buzamiento al Norte por debajo del arco, y señalan además que tal conclusión no está en contradicción con el carácter de las deformaciones tectónicas surgidas en el complejo vulcanógeno-sedimentario del arco de islas, representadas por pliegues y sobrecorrimientos isoclinales de una clara vergencia hacia el Sur.
2. Por otra parte, Holcombe y otros, 1990, sobre la base del análisis del modelo de expansión de Hall y Yeung para la Cuenca de Yucatán, proponen la subducción del centro de expansión y de su limbo meridional hacia el Sur bajo el área ahora ocupada por la fosa de Caimán y el elevado de Nicaragua. Esta presumible subducción tendría lógicamente que haber procedido contemporáneamente con la expansión y tendría por tanto que haber finalizado ya en la época de la reorganización eocénica de los límites de la Placa y los movimientos relativos de la misma. La subducción puede haber ocurrido a lo largo del límite Norte de la cuenca adyacente a Cuba, como se evidencia por lo que puede haber sido una trinchera enterrada con un frente deformacional enterrado en su parte terrestre (Holcombe y otros, 1990).

Independientemente de la situación de la zona de subducción del arco paleógeno hacia el Norte o hacia el Sur, cualquier modelo de evolución estructural del arco debe tener en cuenta la amplia evidencia de compresión Norte-Sur encontrada en el arco circumfosa de Caimán en la provincia de Oriente, Cuba y en la Española (Lewis y Straczek, 1955; Goreau, 1983, en Ladd y otros, 1990).



Evidentemente, en el paleoceno, en el área del límite septentrional de la Placa Caribe están interactuando importantes sistemas de fuerzas.

1.- **En primer lugar, el desplazamiento hacia el este de la Placa Caribe** en relación con Norteamérica gobierna la evolución geológica desde el paleoceno temprano y hasta el presente en el Caribe septentrional (Stephan y otros, 1990).

2.- **Sincrónicamente está ocurriendo la apertura de la Cuenca de Yucatán**, y en su borde Sur, como propone Holcombe y otros, 1990 se crea una zona de subducción que sería la responsable del surgimiento en el paleoceno del arco de islas volcánico de Cuba Sur oriental, constituyendo en ese momento el extremo mas oriental de la cresta de Caimán y por tanto parte integral de la Placa Caribe, muy lejos de su posición actual.

Este sistema de arco de islas volcánico se movía como parte integrante de la Placa Caribe en dirección al Este-noreste en relación a Norteamérica desde una posición situada algunas centenas de kilómetros al Oeste Sur-oeste de su posición actual.

3.- **Paralelamente, desde una posición situada al sureste de su posición actual y con movimiento rotacional levogiro en dirección Norte noroeste se viene moviendo transpresivamente también el fragmento mas oriental del sistema arco de isla-microcontinente** que ve impedido su acercamiento al resto del arco protocubano mesozoico por el surgimiento en el maestrichtiano-paleoceno de la cuenca riftogenética de Cauto-Nipe la cual, efectivamente puede ser la prolongación oriental de la Cuenca de Yucatán (Pusharovsky, Mossakovsky y otros, 1989).

En un momento cercano al **eoceno medio** se produce la colisión del fragmento de arco volcánico mesozoico-microcontinente con el sistema de arco volcánico paleógeno (Cresta de Caimán). Como resultado, se crea entonces en el eoceno medio una compleja estructura de colisión en la que el arco volcánico paleógeno sobrecorre a los fragmentos del arco volcánico mesozoico. Paralelamente, se está formando la fosa de Caimán como una cuenca de tipo "pull apart" limitada por fallas transformantes transextensivas (Stephan y otros, 1990).

Como derivación de las fallas transformantes de Caimán se forma también una gran transformante siniestra a través de la cuenca de Cauto-Nipe que ha terminado por esa época su movimiento de expansión.

Queda así el bloque oriental encerrado entre dos transformantes principales Caimán y Cauto-Nipe que presionan a la cuña del fragmento mas oriental de la Cresta de Caimán a cizallar y sobrecurrir al arco mesozoico. Las metavulcanitas de La Farola son claras evidencias del dinamometamorfismo de colisión en las vulcanitas mesozoicas.

Esta colisión del **eoceno medio** en Cuba oriental provoca la sutura de la zona de subducción en ese segmento y consecuentemente la finalización de la actividad volcánica en esa región, la formación definitiva de las estructuras flexuro-falladas de Caimán y la soldadura definitiva a la Placa de Norteamérica del bloque de Cuba oriental.

De esta manera, la formación de las direcciones estructurales sublatitudinales de Caimán son el resultado de un complejo proceso geodinámico que caracteriza el desarrollo de la etapa final de mantos plegamientos alpinos en la región suroriental de Cuba comenzada en el paleoceno y terminada en el eoceno medio, dando como resultado la formación de una compleja estructura de colisión-acreción con elementos estructurales básicos originados en condiciones geodinámicas espacio-temporales muy diferentes.



Figura 9. Eoceno Medio (después de Stephan et al, 1990, modificado)

**Durante el eoceno tardío-cuaternario** todos los complejos estructuro-formacionales formados durante las etapas de desarrollo de mantos-plegamientos alpinos sufrieron deformaciones de tipo diferente las cuales se expresan en forma fundamentalmente de levantamientos y hundimientos en el relieve contemporáneo y también en las particularidades faciales y de espesor de los depósitos del cenozoico medio y superior. Las estructuras así formadas responden por tanto, fundamentalmente al plano estructural antiguo desarrollado entre el campaniano y el eoceno medio y son por lo tanto en una medida considerable, estructuras heredadas.

Estas estructuras neotectónicas flexuro-falladas anticlino-sinclinales siguen en general las direcciones estructurales antiguas Pinar y Cubana y se agrupan longitudinalmente formando arcos alargados que las engloban, extendiéndose a todo lo largo del territorio de Cuba a excepción de Cuba Sur oriental donde la zona anticlinal de Caimán-Sierra Maestra sigue la dirección discordante sub latitudinal Caimana. Transversalmente, se disponen estas estructuras flexuro-falladas, anticlino-sinclinales, de forma alternante incluyendo los levantamientos y hundimientos situados en el área de la Plataforma sumergida de Cuba.

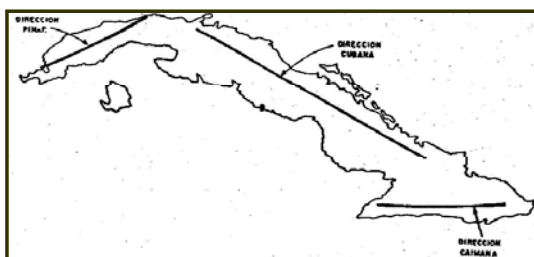


Figura 10. Principales direcciones Estructurales de Cuba.

Este sistema neotectónico anticlino-sinclinal que se dispone longitudinalmente siguiendo el contorno general del Archipiélago Cubano y transversalmente de forma alternante, está cortado en algunos lugares por estructuras transversales sinsedimentarias que se desarrollan a partir de planos antiguos de fallamiento de desplazamiento horizontal siniestro de dirección general noreste transpresivos y transtensionales que provocan el seccionamiento de Cuba en una serie



de segmentos característicos con un desarrollo neotectónico específico lo cual permite su tratamiento en sectores bien diferenciados unos de otros.

En el plano estructural de Cuba se distinguen también de acuerdo con Makarov, 1989 los ejes de levantamientos y hundimientos de carácter regional que trascienden los límites del Archipiélago Cubano y se vinculan con otras estructuras neotectónicas regionales del Caribe. Estos ejes siguen distintas direcciones pero son mayormente transversales al contorno general del archipiélago. Por último, se observan también, levantamientos y hundimientos de carácter totalmente local y desarrollo independiente.

En la formación de las estructuras flexuro-falladas neotectónicas anticlino-sinclinales intervinieron movimientos basculantes y transformantes de naturaleza compresional o tensional relacionados con la interacción de sistemas de fuerzas isostáticos y de desplazamiento horizontal, estos últimos generalmente asociados a fallas antiguas de transformación transversales a las estructuras antiguas heredadas las cuales se rejuvenecieron en la etapa neotectónica de desarrollo.

El desarrollo geodinámico de Cuba continua en nuestros días, como lo atestiguan los movimientos recientes de la corteza terrestre detectados y medidos en Cuba con métodos geodésicos (Marqués M.E., 1983, 1988, 1989).

Los movimientos mas fuertes se detectan en la región oriental del país y están asociados a los elementos dinámicos de tres estructuras regionales que interactúan:

1. La depresión de Cauto-Nipe,
2. El Canal Viejo de Bahamas y
3. La Fosa de Caimán.

En el resto del territorio de Cuba se detectan también movimientos verticales de interés y no se descarta la posibilidad de la ocurrencia de movimientos horizontales significativos en la actualidad. Además de las direcciones estructurales principales descritas, en el territorio de Cuba se observan también direcciones secundarias de tipo plumaje derivadas de las fallas principales a las que interceptan con ángulos de 60 grados y mas disponiéndose a ambos lados de las mismas. En Cuba occidental y central estas direcciones son generalmente sub latitudinales y en Cuba oriental son sub meridianales subordinándose siempre a los sistemas neotectónicos principales

## BIBLIOGRAFÍA

- /1/- Anderson, T.H. and Schmidt, V.A., 1983. The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time. Geol. Soc. Amer. Bull., Boulder, 94, pp 941-965.
- /2/- Bowin, C., 1976. Caribbean gravity field and plate tectonics. Geological Society of America Special Paper, 169. 79p.
- /3/- Bronnimann, P. And Rigassi, D., 1963. Contribution to the geology and paleontology of the area of the city of La Habana, Cuba and its surroundings: Eclogae Geol. Helvetiae, V. 56 No 1, p 193-480.
- /4/- Buffler, R.T. Natkins J. S., Schaub F. J. And Worzel J. L., 1980. In: Pilger R. H., E.d., The origin of the Gulf of Mexico and the early opening of Central North Atlantic Ocean. Proceeding of Symposium at Louisiana State Univ., Baton Rouge, La. P. 3-16.
- /5/- Butterlin, j., 1956, La constitution geologique et la structure des Antilles: Paris, Centre National Recherche Scientifique, 453 p.
- /6/- Case, J. E. Holcombe, T. L., and Martin, R.G., 1984, Map of geologic provinces in the Caribbean region, in: Bonini, W. E., Hargraves, R. B., and Shagan, R. Eds. The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics: Geological Society of America Memoir 162, p. 1-30.



- /7/- Case, J. E. Holcombe, T. L., 1980, Geologic-tectonic map of the Caribbean region: U.S. Geological Survey Miscellaneous Investigations Series Map 1-100, scale 1: 2 500 000.
- /8/- Coney, P. J., 1983. Un modelo tectónico de México sus relaciones con América del Sur y el Caribe: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, v. 15, p. 6-15.
- /9/- Dewey, J. F., 1982. Plate tectonic evolution of the British Isles: Journal of the geological Society of London, V. 139, p 371-412.
- /10/- Donnelly, T. W., 1964. Evolution of eastern Greater Antillean Island Arc: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull; v. 48, No 5, p. 680-696.
- /11/- -----1967. Some problems of island-arc tectonics, with reference to the Northeastern West Indies, in Studies in tropical oceanography; Miami (Florida) Univ., v. 5 p. 74-87.
- /12/- -----, 1968. Caribbean island-arc in light of the sea-floor spreading hypothesis; New York Acad. Sci. Trans, ser. 2, v. 30, No 6, p. 74.
- /13/- -----, 1969. Comunicación escrita en Khudoley K. M. Meyerhoff A. A., 1971. Paleogeography and Geological History of Greater Antilles. The Geological Society of America Memoir 129.
- /14/- -----, 1975. The Geological evolution of the Caribbean and Gulf of Mexico. Some critical problems and areas. The ocean basins and margins, vol. 3. the Gulf of Mexico and the Caribbean; 667-689. Plenum Press. New York, London.
- /15/- Freeland, G. L. And Dietz, R. S., 1972. Plate tectonic evolution of the Caribbean-Gulf of Mexico region: Nature, v. 232, p. 20-23.
- /16/- Freund, R., 1970. Rotation of strike-slip faults in Sistan southeastern Iran, J. Geol., 78, 188-200.
- /17/- Furrázola-Bermúdez G., et al., 1964. Geología de Cuba Editorial Nacional de Cuba. Editora del Consejo Nacional de Universidades.
- /18/- Gealey, W. K., 1980. Ophiolite obduction mechanism, in Panayioton, A., ed. Ophiolites; Proceedings of the International Ophiolite Symposium: Nicosia, Cyprus. Geological Survey Department, p. 228-243.
- /19/- Ghosh, N.; Hall, S. A., and Casey, J. F. 1984. Sea floor spreading magnetic anomalies in the Venezuelan Basin, in Bonini, W. E.; Hargraves, R. B.; and Shagan, R. Eds, The Caribbean-South America Plate boundary and regional tectonics: Geological Society of America, Memoir 162, p. 65-80.
- /20/- Goreau, P. D. E., 1983. The tectonic evolution of the north central Caribbean plate margin (Ph.D, thesis): Wood Hole Oceanographic Institute Massachusetts Institution of Tecnology, WHOI-83-34, 244 p.
- /21/- Hall, S. A.; Yeung, T., 1980. A study of magnetic anomalies in the Yucatan Basin: Caribbean Geological Conference, 9<sup>th</sup>. Santo Domingo, Dominican Republic Transactions, p. 519-526.
- /22/- Hess, H. H., 1955. The oceanic crust: Jour Marine Research, v. 14, No. 4, p. 424-439.
- /23/- -----, 1966. Caribbean reserch proyect, 1965, and bathymetric chart, Geol. Soc. Am. Mem., 98: 1-10 Boulder.
- /24/- Holcombe, T. L.; Ladd, J. W.; Westbrook, G.; Edgar. N.T.; Bowland, C. L., 1990. Caribbean marine geology; Ridges and basins of the plate interior. The geology of North America, Vol. H. The Caribbean region. The Geological Society of America.
- /25/- Iturralde-Vinent M. A., 1975. Problemas de la aplicación de dos hipótesis tectónicas modernas a Cuba y la región del Caribe. Rev. Tecnol. Vol. 1, No 1, p. 46-63.
- /26/- -----, 1988. Toleitas del Thitoniano Medio en la Sierra de Camajan, Camaguey. Posible datación de la corteza oceánica. Rev. Tecnol. Vol. 18, N. 1, p. 25-32.
- /27/- Khudoley, K. M., Meyerhoff, A. A., 1971. Paleogeography and Geological History of Grater Antilles. The Geological Society of America Memoir 129.
- /28/- Knipper, A. L. Y Cabrera, R., 1974. Tectonica y geología histórica de la zona de articulación entre el mio y el eugeosinclinal y el cinturón hiperbásico de Cuba. En Contribución a la Geología de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. Publicación Especial 2., p. 15-77.
- /29/- Ladd, J. W.; Holcombe, T. L.; Wesbrook, G. K.; Edgar, N. T., 1990. Caribbean marine geology; active margins of the plate boundary .The Geology of North America. Vol. H, The Caribbean region. The geological Society of America.
- /30/- Lewis, G. E.; Straczek, J. A., 1955., Geology of south-central Oriente, Cuba: U. S. Geological Survey Bulletin 975 D. P. 171-336.
- /31/- Lewis, J. F., Draper, G., 1990. Geology and tectonic evolution of the northern Caribbean margin. The Geology of North America. Vol. H., The Caribbean region. The Geological Society of America.
- /32/- Malfait, B. T.; Dinkelman, M. G., 1972. Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and the evolution of the Caribbean Plate: Geological Society of America Bulletin, V. 83, p. 251-272.





- /33/- Makarov, V. I., 1989. Explicación del mapa neotectónico de Cuba a escala 1:2 500 000. En tectónica de la República de Cuba. Moscú, Edit. Nauka, (en Ruso).
- /34/- Mattson, P. H., 1973. Middle Cretaceous nappe structures in Puerto Rican ophiolites and their relation to the tectonic history of the Greater Antilles: Geological Society of America Bulletin, v. 84, p. 21-37.
- /35/- Marqués, M. E., Hernández, J. R., Chuy, T., Venereo, A., 1983. El polígono geodinámico de Santiago de Cuba, una perspectiva científica y socio-económica. Tectonofísica, 97, 17.
- /36/- Marqués, M. E., Chuy, T., Cotilla, M., Rueda, J. 1988. Algunos resultados de las investigaciones complejas en el polígono geodinámico de Santiago de Cuba. Movimientos Tectónicos Recientes II.
- /37/- Marqués, M. E., Martínez, H., 1989. Algunos criterios relativos a la ocurrencia de los movimientos verticales recientes en Cuba Oriental. XIII Conferencia S. G. P. S. Pyonyang, Corea, (en Ruso).
- /38/- Mattson, P. H., and Pessagno, E. A., Jr., 1979. Jurassic and Early Cretaceous radiolarians in Puerto Rican ophiolite: Tectonic implications: Geology, v. 7, p. 440-444.
- /9/- Meyerhoff, A. A., 1966. Bartlett fault system: Age and offset; Kingston. Jamaica. Geol. Surv. Dept. 3d Caribbean Geol. Conf. Trans; p. 1-9.
- /40/- Morgan, J. P., Kleinrock, M. C., 1991. Transform zone migration: Implications of bookshelf faulting at oceanic and icelandic propagating ridges. Tectonics, vol. No 5, pp. 920-935.
- /41/- Nuñez Jimenez, A. 1972. Geografía de Cuba. Instituto del Libro. La Habana, Cuba.
- /42/- Pindell, J. L., and Dewey, J. F., 1982, Permo-Triassic reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region: Tectonics, v. 1 p. 179-211.
- /43/- Pindell, J. L.; Barret, S. F., 1990. Geological evolution of the Caribbean region; A Plate-Tectonic perspective. "The Geology of North America, Vol. H. The Caribbean Region. The Geological Society of America.
- /44/- Piotrowski, J., 1987. La actividad volcánica en el Mesozoico y el Paleogeno (?) de la provincia de Pinar del Río. En el libro "Contribución de la geología de Pinar del Río". Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba.
- /45/- -----, 1987. Primeras manifestaciones de vulcanismo en el geosinclinal cubano. En el libro "Contribución a la geología de Pinar del Río. Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba.
- /46/- Pszczolkowski, A., 1971 b. Jurassic Cretaceous and Paleogene deposits of Sierra del Rosario (Cuba). Bull. Acad Polon. Sci., Ser. Sci. Terre, 19 (4): p. 249-259, Varsovie.
- /47/- 1976 a. Nappe structures in the Sierra del Rosario, Cuba; Academic Polonaise des Sciences Bulletin, Serie des Sciences de la Terre, v. 24, No 3-4 p. 205-215.
- /48/- -----, 1976 b. Stratigraphic facies sequences in the Sierra del Rosario, Cuba. Academie Polonaise des Sciences Bulletin, Serie des Sciences de la Terre v. 24 No 3-4, p. 193-203.
- /49/- -----, 1978. Geosynclinal sequences of the Cordillera de Guaniguanico in western Cuba; their lithostratigraphy, facies development and paleogeography: Acta Geologica Polonica, v. 28, No 1, p. 1-96.
- /50/- -----, 1987. Secuencias miogeosinclinales de la cordillera de Guaniguanico; su litoestratigrafía. En el libro "Contribución a la Geología de Pinar del Río, "Editorial Científico-Técnica", La Habana, Cuba.
- /51/- Pusharovsky, Y. M., Mossakovsky A. A. 1989. Tectónica de la Republica de Cuba. Nota explicativa al mapa de Cuba a escala 1:500 000. Editora "Nauka", Moscú (en ruso).
- /52/- Rosencrantz, E., Schater, J. G., and Boerner, S. T., 1989. Basement depths and heat flow in the Yucatan Basin and Cayman Trough, North-western Caribbean, Implications for basin ages, in: Wright, J. A. And London, K. E. Eds., CRC Handbook of sea floor heatflow: Boca Raton, Florida, CRC Press Incorporated p. 257-276.
- /53/- Sykes, L. R., Mc. Cann, W. R., and Kafa A. L., 1982. Motion of Caribbean plate during the last 7 million years and implications for earlier Cenozoic Movements; Journal of Geophysical Research, v. 87, p. 10, 656-676.
- /54/- Skvor, V. 1969. The Caribbean area; A case of destruction and regeneration of a continent: Geological Society of America Bulletin, v. 80, p. 961-968.
- /55/- Shein, V. S., Kleshev, K. A., 1977. Estructura y formación de las Grandes Antillas. Dokl, A.C., URSS, T 234, No 4, p.984-906 (en ruso).
- /56/- Stephan, J. F. Mercier de Lepinay B. Et al., 1990. Paleogeodynamic maps of the Caribbean. Bull. Soc. Geol. France, (8), t. VI. No 6.
- /57/- White, G. W., and Burke, K., 1980. Outline of the tectonic evolution of the Gulf of Mexico and the Caribbean region: Houston Geological Society Bulletin, v. 22, p. 8-13.



## ESTUDIO TECTONICO COMPARATIVO DEL EXTREMO OCCIDENTAL DE PINAR DEL RIO Y LA PARTE MERIDIONAL DE LA ISLA DE LA JUVENTUD, CUBA.

**Carlos M. Pérez Pérez<sup>(1)</sup>, Leandro L. Peñalver Hernández<sup>(1)</sup>, Miguel Cabrera Castellanos<sup>(1)</sup>, Roberto Denis Valle<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Instituto de Geología y Paleontología. MINBAS. Vía Blanca 1002 y Carretera Central. San Miguel del Padrón. CP 11000. Ciudad de la Habana. Cuba, Tel: 55-7232, Fax: (537) 55-7004, Email: [carlos@igp.minbas.cu](mailto:carlos@igp.minbas.cu).

<sup>(2)</sup> Empresa Geominera Pinar del Río. MINBAS. Martí No. 141, Pinar del Río, CP 20100.

### RESUMEN

Sobre la base del procesamiento digital de las imágenes espaciales del extremo occidental de Cuba y de la parte sur de la Isla de la Juventud, de la evaluación geólogo-geomorfológica de ambos territorios, así como de los resultados de recientes trabajos realizados allí, se hacen algunas consideraciones acerca de la similitud en la estructura y evolución tectónica de las dos regiones que evidencian una tendencia geológica específica continuada en el tiempo, que las diferencia sustancialmente del resto del territorio de Cuba.

Parece evidente que, como resultado de un evento tectónico regional que pudo haber comenzado a fines del Oligoceno o en el Mioceno temprano y ha ido avanzando hacia el este, se han repetido en el tiempo procesos geológicos con características semejantes que han provocado la formación de depósitos similares con edades diferentes, en regiones espacialmente alejadas.

En diversas composiciones a color (RGB) y otras operaciones con imágenes se observan con claridad las características distintivas de los paisajes de ambas regiones, destacándose muy bien los principales elementos estructurales que las componen. Se observa una extraordinaria similitud en las respuestas espectrales de los depósitos estudiados en las imágenes.

Como resultado del trabajo se definió que en ambos territorios aparece en el plano una secuencia similar en la distribución de los depósitos, distribuidos de Norte a Sur: Franjas de pie de monte al norte, alrededor de las elevaciones conformadas por rocas antiguas donde predomina el material terrígeno, depresiones alargadas de E a W cubiertas por pantanos y depósitos cuaternarios muy jóvenes (ciénagas) en la parte central y llanuras cárnicas con predominio del material carbonatado al sur.

Preliminarmente se han definido rasgos coincidentes con la Península de Zapata, aunque es necesario realizar trabajos detallados en esta zona para poder afirmar que su evolución ha estado asociada al fenómeno antes descrito.

### ABSTRACT

Based on the satellite imaging processing and evaluation of the geological and geomorphological characteristics of the south-western plain of Pinar del Río and the southern part of the Isla de la Juventud, as well as the results of recent geological works, led to conclude that both regions are similar in their structure and tectonical evolution, reflecting an specific trend through the recent geological time very different from other part of the cuban territory.

As a consequence of a regional tectonic event started at the most upper Oligocene or the lower Miocene and migrating in an eastern direction, there happened the same geological events which resulted in the deposition of similar sediments, but with different ages, in regions apart one from the other.

On the different color composite (RBG) and other operations with images, there were revealed the distinctive features of the landscapes of both regions standing out their main structural elements. It is stated the extraordinary analogy in the spectral responses of the deposits watched in the images.

It was established that in both regions appear the same sediment distribution sequences from north to south: Piedmontal belt to the north, surrounding the elevation composed mainly by siliciclastic Jurassic

rocks, depressions elongated in a E-W direction covered by very young quaternary deposits at the central part, and, to the south, karstic plains with a calcareous composition. There is a noticeable similarity between the studied area and the Zapata Peninsula.

## INTRODUCCION

El área de estudio I se circunscribe al extremo occidental de la Provincia de Pinar del Río (entre los 21°40' y 22°10' de latitud norte y los 83°54' y 85°00' de longitud oeste y el área de estudio II abarca la parte sur de la Isla de la Juventud (entre los 21°25' y 21°35' y los 82°30' y 83°10'), (Fig.1).

Ambas áreas pueden ser caracterizadas como amplias llanuras predominantemente cársticas que bordean por el sur a elevaciones montañosas jurásicas (en Pinar del Río a la parte occidental de la Cordillera de Guaniguanico y en la Isla de la Juventud a la parte sur del macizo metamórfico), donde afloran solamente formaciones neógeno-cuaternarias ( en Pinar del Río las formaciones Paso Real, Guane, Guevara, Villaroja, Vedado, Jaimanitas y Cocodrilo y en la Isla de la Juventud las formaciones Guane, Jaimanitas, Cocodrilo y Sigüanea, ya que la Fm. Vedado aparece sólo en el zócalo), que forman bandas o franjas con orientación sublatitudinal y que dan lugar a un paisaje muy específico: lagos, lagunas, pantanos, extensas acumulaciones de arenas cuarzosas, variadas formas cársticas como superficies corrosionadas, dolinas lacustres, cuevas de varios tipos y voladizos de marea, (Nuñez et al, 1970). Dentro de la llanura meridional en el área II se destaca el afloramiento de rocas metamórficas del denominado Cerro Caudal, única elevación en toda la parte sur de la Isla de la Juventud, que se erige como un testigo de erosión rodeado de los depósitos carbonatados antes señalados.

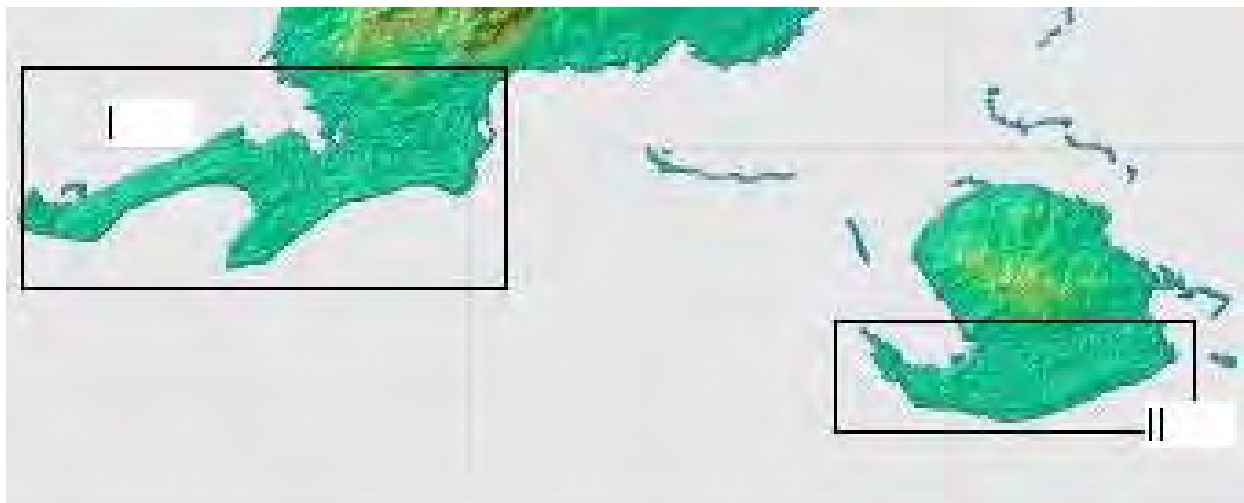


Fig.1.- Área de estudio: I- Extremo suroccidental de Pinar del Río y II- Parte meridional de la Isla de la Juventud.

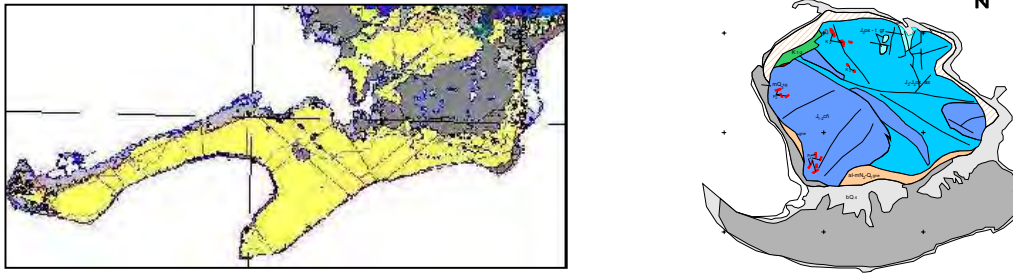


Fig 2.- Mapas Geológicos de la Península de Guanahacabibes y la Isla de la Juventud. IGP 1988.

La Ciénaga de Lanier, que separa el macizo metamórfico de la Isla de la Juventud de la llanura cársica meridional, es un área pantanosa estrecha (4-5 kms en sus partes más anchas, aunque en algunos lugares tiende a desaparecer) que se extiende de este a oeste interconectando las dos costas. No se reporta la presencia de arenas cuarzosas de la Fm Siguanea (como en la Ciénaga de Remates), las cuales sólo aparecen formando barras de orientación NW-SE en la parte occidental de la Isla (Siguanea).

Según demuestran los datos obtenidos por los pozos profundos perforados tanto en la parte suroccidental de Pinar del Río (los pozos Guane I donde las rocas metamórficas de la Fm. San Cayetano se interceptaron a los 220 m y Guanahacabibes, donde las mismas rocas metamórficas se cortan a los 1000 m) y en la parte meridional de la Isla de la Juventud, las rocas neógeno-cuaternarias yacen directamente sobre las jurásicas, lo que indica una brusca inversión del régimen tectónico en esta región a fines del Oligoceno o en el Mioceno temprano.

De aquí se infiere que el estilo estructural que predominó al inicio fue de subsidencia prolongada y, luego en dirección al sur o suroeste, parece haber ocurrido un basculamiento escalonado del sustrato. Este proceso se comportó en el tiempo de forma desigual en distintas partes del territorio y, de alguna manera, esto se refleja directamente en el paisaje superficial actual.

## MATERIALES

Para la argumentación de las tesis del trabajo se utilizaron los resultados de las comprobaciones de campo ejecutadas en las áreas para mejorar la cartografía de los depósitos  $N_2-Q$ , se consultaron materiales geólogo-geofísicos anteriores (Fig.3 y 4). y se realizaron interpretaciones de fotos aéreas e imágenes de satélite (Fig.5 y 6).



Fig.3- Detalles de los Mapas Gravimétricos de Pinar del Río e Isla de la Juventud, (Fuentes y Pérez, 2001).

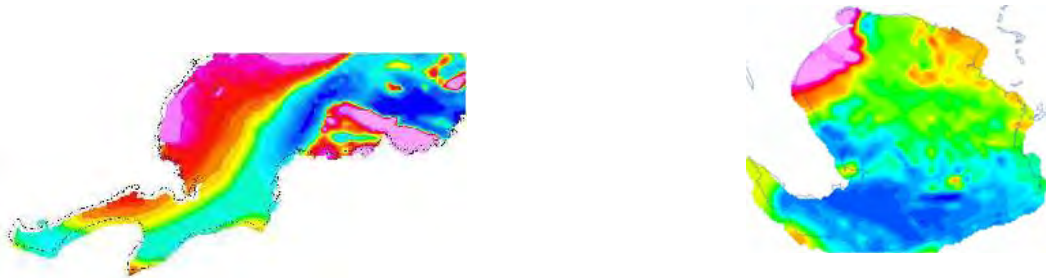


Fig.4- Detalles de los Mapas Magnetométricos de Pinar del Río e Isla de la Juventud, (Corbea et al, 1998).

Como puede apreciarse en los mapas gravimétricos (Fig. 3) y magnetométricos (Fig.4) de ambos territorios existe una clara diferencia en la respuesta de éstos métodos en las áreas de estudio en comparación con la parte septentrional. La información gravimétrica demuestra claramente la presencia de una zona de gradiente entre un máximo y un mínimo, lo que parece confirmar la posibilidad de que un fenómeno tectónico interviniera de forma brusca en la evolución geológica de la región entre el Oligoceno tardío o el Mioceno temprano, fragmentando el territorio.



Fig.5- Composición a color de las bandas espectrales 5, 3 y 1 de las imágenes de satélite LANDSAT TM. El color carmelita se corresponde con los depósitos carbonatados de la Fm. Vedado que cubren la mayor parte de la Península de Guanahacabibes.

Fig.6- Composición a color de las bandas espectrales 5, 3 y 1 de la imagen de satélite LANDSAT TM de la Isla de la Juventud. El color carmelita en este caso se corresponde con los depósitos carbonatados de las formaciones Jaimanitas y Cocodrilo que cubren la mayor parte del sur de la Isla de la Juventud, más jóvenes que la Fm. Vedado que yace en el sustrato.



La interpretación de las fotos aéreas aportó también importantes evidencias de las diferencias existentes en el paisaje actual que, sin dudas, refleja la complejidad de la evolución sufrida por esta parte del territorio cubano. La distribución de los depósitos cuaternarios y la abundancia de fenómenos cársticos de la más variada naturaleza son un testimonio fehaciente de la sucesión alternante de regresiones y transgresiones, que pudieron estar asociados con movimientos neotectónicos de gran complejidad (Kartashov y Mayo, 1970).

El procesamiento digital de las imágenes de satélite Landsat TM (RGB de las bandas 5, 3 y 1) permite apreciar la homogeneidad litológica de los depósitos carbonatados de la Península de Guanahacabibes (Fm. Vedado) (Fig.5) y de la Llanura Meridional en la Isla de la Juventud (formaciones Jaimanitas y Cocodrilo) (Fig.6), que las diferencian sustancialmente de las franjas ubicadas más al norte. El color carmelita oscuro se corresponde con la distribución de los depósitos carbonatados en ambos territorios sin que se observen diferencias a pesar de que no tienen la misma edad.

## DISCUSION

De Norte a Sur las áreas de estudio fueron divididas en bloques que presentan características diferentes y que se comportan de forma similar en ambos territorios a pesar de su lejanía y las edades distintas de las rocas que las componen (Fig.7):

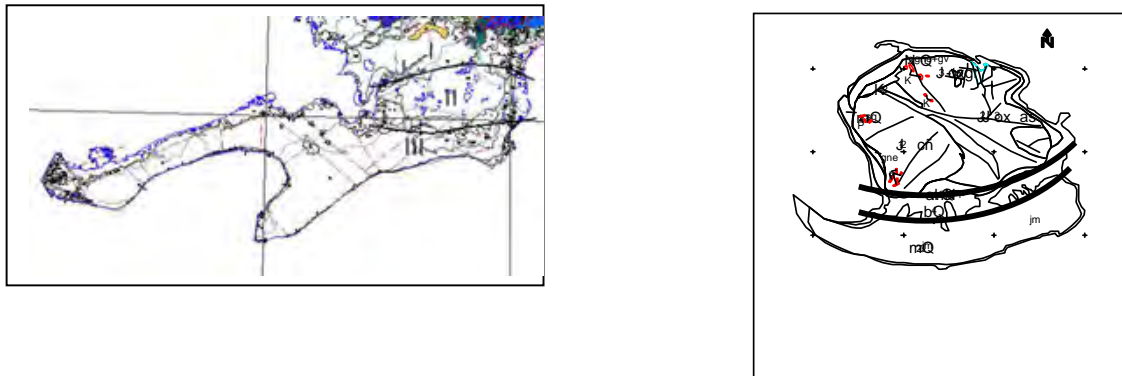


Fig. 7.- Propuesta de división en bloques de Guanahacabibes y de la parte meridional de la Isla de la Juventud.

- **Bloque I:** Franjas de pie de monte al sur de las elevaciones de los Macizos Metamórficos.

Están constituidos predominantemente por depósitos terrígenos del  $N_2$  - $Q_1$  que cubren transgresivamente las formaciones jurásicas. Es evidente que en la región ocurrieron procesos de acelerada subsidencia a partir del Mioceno temprano producto de un posible evento tectónico que avanzó en el tiempo hacia el este y que puede continuar en la actualidad, dentro del proceso de desarrollo platafórmico de esta parte del territorio cubano (Iturralde-Vinent, M. 1978).

- **Bloque II:** Depresiones alargadas de E a W cubiertas por depósitos cuaternarios muy jóvenes.

Pueden definirse como depresiones muy jóvenes de origen tectónico cubiertas por depósitos recientes (holocénicos) con un amplio desarrollo de lagunas y pantanos de



probable origen cársico. Parecen haber sido afectados por múltiples movimientos de ascenso y descenso.

- **Bloque III: Llanuras cársicas.**

Abarcan la península de Guanahacabibes y la Llanura Meridional de la Isla de la Juventud. Están cubiertos de forma prioritaria por depósitos carbonatados del N<sub>2</sub>–Q, que forman llanuras cársicas elevadas a varios metros sobre el nivel del mar. Resulta evidente que la subsidencia inicial (que parece haberse iniciado a fines del Oligoceno), dio paso a la elevación continua de los bloques a partir del Pleistoceno inferior, proceso que fue extendiéndose hacia el este lentamente provocando la presencia en superficies subaéreas de depósitos cada vez más jóvenes.

## CONCLUSIONES

El extremo occidental de la provincia de Pinar del Río y la parte meridional de la Isla de la Juventud a pesar de encontrarse espacialmente distantes, presentan características geológicas similares, estando constituidos por depósitos litológicamente iguales pero con edades diferentes. Resulta evidente que ambos territorios han experimentado una evolución tectónica similar producto de un evento regional que pudo haber comenzado en el Eoceno Superior y probablemente continúe todavía, que ha avanzado de oeste a este en el tiempo provocado el levantamiento general de la zona y la existencia en las tierras emergidas de un paisaje muy especial.

Por el contrario, aunque las Ciénagas de Remates y Lanier, disminuyen su área constantemente por la desecación, continúan creciendo de este a oeste provocando la formación de nuevas tierras.

Esto parece ser el resultado de la conjunción de procesos tectónicos con la acción de las corrientes marinas que se desplazan hacia el oeste en esta zona procedentes del Mar Caribe y que originan una serie de corrientes locales que participan en el desplazamiento de una gran cantidad de sedimentos en esta propia dirección. A esto se adiciona el factor biogénico muy importante tanto por el aporte de material sedimentario como el desplazamiento de la línea de costa hacia el mar, por la función que tienen los manglares de filtro o trampa del aporte de material sólido tanto desde el mar como tierra.

Preliminarmente se han definido rasgos coincidentes con la Península de Zapata, aunque es necesario realizar trabajos detallados en esta zona para poder afirmar que su evolución ha estado asociada al fenómeno antes descrito.



Tabla 1: Comparación de las formaciones geológicas presentes en el extremo occidental de Pinar del Río y la parte meridional de la Isla de la Juventud

FORMACION GEOLOGICA	LITOLOGIA Y EDAD	EXTREMO OCCIDENTAL DE PINAR DEL RIO	PARTE MERIDIONAL DE LA ISLA DE LA JUVENTUD
<b>Fm. GUANE</b>	Conglomerados, gravas, arenas y arcillas arenosas, de coloración abigarrada. Plioceno Superior- Pleistoceno Inferior.	Presenta un gran desarrollo hasta la llanura con basamento neogénico.	Presenta un desarrollo limitado y no se han detectado depósitos del neógeno.
<b>Fm. VEDADO</b>	Calizas coralinas, color crema, recristalizadas. Plioceno Superior -Pleistoceno Inferior.	Ocupa la mayor parte de la Península de Guanahacabibes y la sobreyacen la Fm. Jaimanitas parcialmente y muy esporádicamente la Fm. Cocodrilo.	Yace en el basamento de la Llanura Cársica Meridional.
<b>Fm. GUEVARA</b>	Arcillas plásticas, arenas, gravas finas, fragmentos de corazas ferríticas ( <i>hardpan</i> ) y cantos de coloración abigarrada. Pleistoceno Inferior- Medio.	Presenta un gran desarrollo hasta la llanura con basamento neogénico.	Aparece indiferenciado con la Fm. Guane.
<b>Fm. VILLARROJA</b>	Arcillas arenosas de color rojo. Pleistoceno medio parte alta.	Aparece en la zona de Las Martinas, Cayuco-Babiney, sobreyaciendo a la Fm. Guane y, a veces a la Fm. Vedado.	No aparece.
<b>Fm. JAIMANITAS</b>	Dos facies: a) calizas y calcarenitas coralinas y conchíferas y b) calcarenitas margosas a veces conchíferas. Pleistoceno Superior temprano.	Presenta un desarrollo limitado, aflorando sobre todo cerca de la línea de costa.	Aflora en la mayor parte de la Llanura Meridional sobreyaciendo a la Fm. Vedado y siendo sobreyacida por la Fm. Cocodrilo parcialmente.
<b>Fm. COCODRILO</b>	Calcarenitas oolíticas duras de color gris oscuro, con estratificación laminar cruzada. Pleistoceno Superior tardío.	Aparece de forma limitada sobre todo en zonas costeras formando barras paralelas (Cortés).	Ocupa un área significativa sobre todo en las costas, pero en algunos lugares penetra algunos kms. tierra adentro (Carapachibey).
<b>Fm. SIGUANEA</b>	Arenas cuarzosas de granulometría variable con intercalaciones de gravas de igual composición. Pleistoceno Superior tardío	Ocupa solamente la zona de La Fé, Isabel Rubio y Cortés, rellenando las zonas bajas.	Aparece sobre todo en forma de barras en la parte NW de la Isla de la Juventud y en la zona de la Siguanea se adentra hacia el E, bordeando la Ciénaga de Lanier.

## BIBLIOGRAFIA

- Corbea L., L. Liufrú, I. Padilla, A. Oviedo, 1997. Mapa aeromagnético de la República de Cuba a escala 1:250 000. Informe Final de Proyecto. Archivo Técnico-IGP.
- Fuentes M., P.H. Pérez, 2001. Mapa Gravimétrico de Cuba para densidades 2,3 T/m<sup>3</sup> y 2,67 T/m<sup>3</sup>. Informe Final de Proyecto. Archivo Técnico-IGP.
- Iturralde-Vinent, M. 1978. Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico en Cuba. Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio. ACC.
- Kartashov I.P., N. Mayo, 1970. Algunas particularidades de las estructuras de los depósitos del cuaternario continental en Cuba Central y Occidental. Resumen al Simposium XXX Aniv. de la Sociedad Espeleológica de Cuba. En el Libro "Medio Siglo explorando Cuba" Tomo II. Habana, Cuba. Editora ACC. Pag.72-73.
- Núñez Jiménez A., O. Stelcl, V. Panos y J. F. de Albear, 1970. La llanura costera occidental de Pinar del Río. Serie Espeleológica y Carsológica. No. 19. Instituto de Geografía. Habana, Cuba. Editora ACC. 113 pag.



## MAPA GEOLOGICO A ESCALA 1: 100 000 DE LOS MARES NERITICOS DE CUBA

**Miguel Cabrera Castellanos, Cecilia Ugalde Fariñas & Guillermo Pantaleón Ventos**

*Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, ZIP 11000, Email-[miguel@igp.minbas.cu](mailto:miguel@igp.minbas.cu)*

### RESUMEN

Las investigaciones geológicas y oceanográficas, realizadas en esta parte del territorio durante varias décadas ha permitido tener un conocimiento, por lo menos aproximado, de la cartografía geológica de su fondo y la superficie de sus miles de cayos, la cual será incluida en el mapa geológico a escala 1: 100 000 de la República de Cuba. El mismo se encuentra representado en 98 hojas de las 122 que abarca el archipiélago cubano, con 67831 km<sup>2</sup> (61 % del total de su territorio). Se encuentra procesado en AUTOCAD y montado en el sistema de información geográfico CARIS y cuenta, además de su leyenda, con un texto explicativo. Ello permite contar con una base única para un empleo más racional en los diferentes usos que pueda tener la información de los depósitos que afloran y de los que subyacen inmediatamente a éstos, con posibilidad de actualización permanentemente. Este constituye el segundo intento por presentar el mapa geológico del país con los depósitos del fondo de los mares someros circundantes. La primera se hizo para el mapa a escala 1: 500 000. No abundan los ejemplos de países con costas que realicen este tipo de trabajo, por lo que este resultado constituye un logro de relevancia.

### ABSTRACT

The geological and oceanographic research developed in this region during the last decades, left us some knowledge about cartography of the marine bottom and the surface of thousands of keys located in the studied region. These data will be illustrated in the geologic map of Cuba, scale 1: 100 000. Our map includes 98 sheets of the mentioned scale; the total of Cuba archipelago are 122 sheets. Our map is processed in AutoCAD and mounted in the geographic information system CARIS, besides this it has a legend and explanatory text. The latter permits us to have an unique basis for a reasonable use of the information about the outcropping deposits and those lying underneath, that's why is possible to actualize permanently. This is the second attempt to present a geologic map of Cuba with the bottom deposits of surrounding shallow marine sediments of the country. The first intent was in geologic map scale 1:500 000. Not many countries with shores can do this kind of work; our results here are remarkable importance

### INTRODUCCION

Este trabajo es parte del resultado de una de las tareas del proyecto para la confección del mapa geológico a escala 1: 100 000 de la República de Cuba. Su objetivo principal ha sido compilar y sistematizar los datos de la cartografía geológica de la superficie del fondo de los mares nerítico del archipiélago cubano; así como de la superficie de los miles de cayos que lo pueblan. El volumen cartográfico de este trabajo no es posible darlo a conocer en una publicación de este tipo, por lo que aquí solo se pretende dar a conocer su existencia, como un nuevo "producto", el cual es perdurable, de amplio uso, fácil adquisición y manipulación, encaminado a servirle de base a las investigaciones marino-costeras en general y a las medio ambientales en particular. Se presenta la mayor parte



de su texto explicativo. El mismo se encuentra concebido para ser utilizado independiente del mapa si fuese necesario.

## MATERIALES Y METODOS

En la confección del mapa y del texto acompañante se emplearon más de cien informes y publicaciones de investigaciones realizadas a lo largo de más de un siglo, sobre todo las incluidas en los estudios temáticos realizadas a partir del año 1965 por instituciones cubanas y extranjeras.

Se contó, además, con más de 100 cartas náuticas publicadas y el Derrotero de las Costas de Cuba, que caracterizan los distintos tipos de fondo según su composición. Finalmente, se utilizó la base topográfica a escala 1: 100 000 en formato digital (Fig. 1), la cual fue confeccionada por GEOCUBA para estos fines específicamente, que no posee los tipos de fondo, pero cuenta con los tipos de cayos según su composición, o sea, si son de rocas, depósitos palustres o marinos. Cuenta, además, con la representación de los arrecifes coralinos

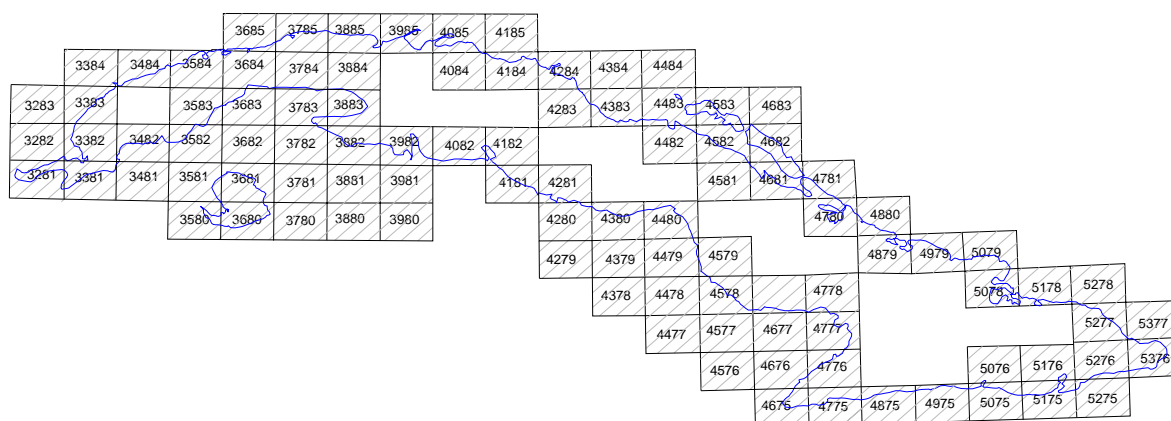


Fig. 1. Cartograma de la base topográfica a escala 1: 100 000 utilizada para la confección del mapa.

La metodología de trabajo tuvo determinada por los pasos señalados en la Fig. 2. El procesamiento digital se hizo en AUTOCAD, con los requerimientos establecidos por el SIGEOL (Castellanos *et al.*, 2003). Finalmente, se sometió a una revisión minuciosa el texto y todas las hojas del mapa.

Se ha separado la descripción de los depósitos del fondo marino y de las partes emergidas (los cayos). Para los primeros se aplica la clasificación granulométrica establecida en el SIGEOL, mientras que para los segundos se aplica la clasificación genética de los depósitos cuaternarios establecida para el territorio emergido de Cuba, acordada también en el SIGEOL. La caracterización de los depósitos se realizó por sectores de plataforma y sectores intraplatafórmico (Fig. 3). Como límite exterior del territorio se adoptó la isobata de los 50 m.

Alrededor del archipiélago cubano existen los siguientes sectores de plataforma marina: noroccidental (golfo de Guanahacabibes), norcentral (archipiélago Sabana-Camagüey), suroriental, (golfos de Ana María y Guacanayabo) y suroccidental (golfo de Batabanó). Se tienen también los siguientes sectores sin plataforma intraplatafórmicos (sin plataforma):



El Morrillo-península de Hicacos y bahía de Nuevitas-punta de Maisí (por el norte); punta de Maisí-cabo Cruz, punta Mula (Casilda)-Punta Cazones y cabo Francés-cabo San Antonio (por el sur) (Fig.3). Esta división no coincide exactamente con la propuesta por Núñez-Jiménez, (1984), ya que se ha tratado lo más posible de ajustar esta división a los límites morfológicos de los diferentes sectores.

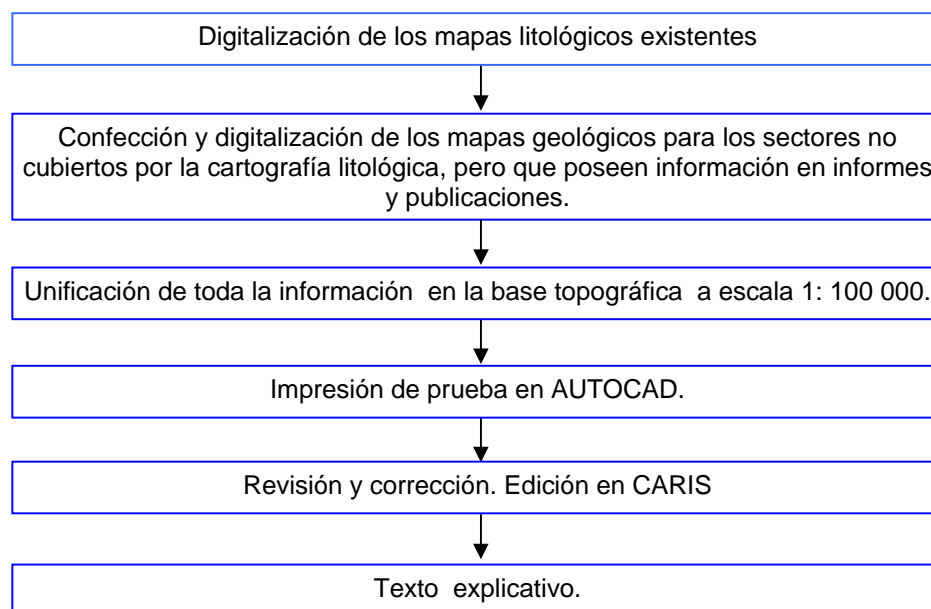


Fig. 2 Flujograma de ejecución

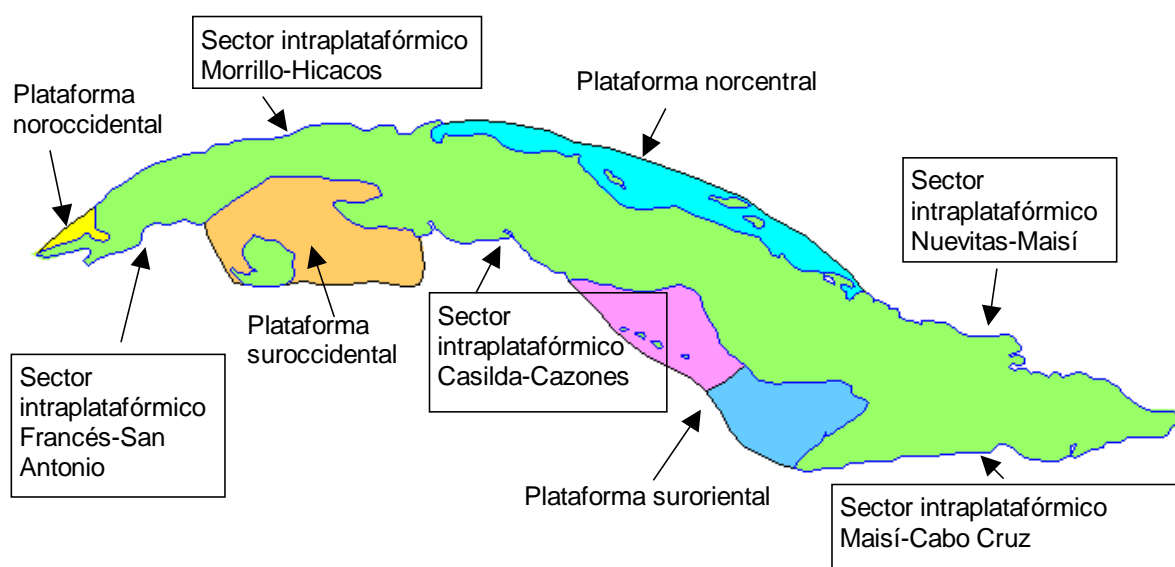


Fig. 3 Posición de los sectores de plataforma e intraplatafórmicos para el archipiélago cubano.







**Fondo marino.** En la zona exterior hay acumulaciones insignificantes, por su espesor, de arenas coralino-conchífero-algales, carbonáticas, de color blanco, con granos de diferentes tamaños y fragmentos gravelíticos (*pre*). Es uno de los sectores de la costa norte de Cuba donde el zócalo rocoso, perteneciente, probablemente, a la Formación Jaimanitas está cubierto parcialmente por arrecifes coralinos en desarrollo (Zenkovich e Ionin, 1969).

La zona interior en la parte centro-occidental está ocupada también por las arenas anteriormente descritas, las que se extienden desde el borde interno de la zona exterior hasta el límite con los depósitos limo-arcillosos. Se encuentran interrumpidas por afloramientos de calizas, que se han adoptado aquí como Formación Jaimanitas, pero que pudieran tener afloramientos hasta de la Formación Vedado, pues las descripciones de Ionin y Avello (1975) y Ionin *et al.*, (1977), de las calizas que se encuentran en los límites de esta zona con el de la zona exterior parecen coincidir con las de esta formación, pero los datos no son suficientes para afirmarlo. Los depósitos de la formación Jaimanitas, a su vez, conforman el subyacente de la mayor parte de este sector de la plataforma. Hacia al este, aproximadamente hasta el Morrillo (límite este de la plataforma), los depósitos de arenas alternan con depósitos limo-arcillosos (*m/c*), limo grueso (*pmg*) y arenas limosas (*mal*); así como con afloramientos de calizas de la Formación Jaimanitas y arrecifes coralinos actuales. El espesor de las arenas varía entre 1 m y 20-30 m. Sus máximos valores se alcanzan en el canal formado entre la barrera arrecifal y las calizas de la zona interior.

Los depósitos limo-arcillosos en las partes más alejadas de la costa son carbonáticos, blanquecinos y están algo enlodados, mientras que próximo a la costa, de forma general, poseen un gran aporte de los manglares y cantidades insignificantes de componentes terrígenos, su color es gris oscuro y están mucho más enlodados. En la ensenada de Guadiana se distinguen dos horizontes: el primero es de color gris, con abundantes conchas de moluscos y un espesor de 2,0 – 2,5 m; el segundo es de color pardo carmelitoso, con escasos y finos fragmentos de moluscos, pudiendo alcanzar hasta 8 m de espesor, son viscosos y compactos y con poca cantidad de materia orgánica. En opinión de Ionin *et al.*, (1977), este segundo horizonte representa sedimentos de una antigua laguna en la parte baja del río Guadiana, de cuando el nivel del mar se encontraba por debajo del actual.

Los limos arcillosos a veces contienen horizontes de turbas, que también pueden ser su subyacente. Sobreyacen indistintamente a los cuerpos de arenas y a la superficie intemperizada de las calizas de la Formación Jaimanitas mar afuera o las cortezas de intemperismo y Formación Guane, en las proximidades de las costas. Su espesor más frecuente es de 1-5 m, pero puede superar los 10 m en los embudos cársticos, por ejemplo, al noroeste de cayo Morrillo su valor es de 30,8 m.

La composición carbonática de las arenas es producida por el aporte biogénico, que según datos de Murina *et al.*, (1969), corresponde mayormente a fragmentos de corales y algas *Thalassia sp.*, foraminíferos, moluscos, esponjas, equinodermos, vermes y crustáceos, entre otros. En los limos calcáreos hay predominio de *Thalassia sp.*

### **Sector intraplatafórmico El Morrillo- Península de Hicacos**

Aparecen arrecifes coralinos, pero, según las investigaciones de Zenkovich e Ionin, (1969), solo en las regiones de punta de La Maya al oeste de Varadero y en la bahía de



La Herradura, cerca de Cabañas, estas formaciones cubren casi todo el zócalo o substrato rocoso (superficie de la Formación Jaimanitas), en los demás casos los corales están parcialmente muertos y destruidos, encontrándose expuesto el substrato.

Las acumulaciones de depósitos friables son escasas. En las depresiones cársticas retroarrecifales casi paralelas a las costas y en forma de arco, situadas frente a las playas del este de La Habana se forman cuerpos de arenas (*pre*), de composición carbonática de origen biogénico (fragmentos de conchas, residuos de algas *Halimeda*, espículas de esponjas y erizos, foraminíferos bentónicos y moluscos, entre otros). Según datos de Álvarez y Ramírez, (1988), predominan las algas (34,07 %), foraminíferos (19,04 %) y moluscos (13, 52 %). Los granos son, principalmente, de medio a grueso y bien seleccionados. En aislados puntos se localizan gravas finas y limos. El color es de blanco a crema y los espesores de 3 a 8 m. También se han cartografiado pequeños cuerpos de arenas y gravas similares a las anteriormente descritas, en el canal de acceso de las bahías Honda, Cabaña y Mariel (bahías de bolsa) y al oeste del canal de entrada de bahía Honda, frente a las bahías de Ortigosa y Dominica, y en la ensenada de Prángana. Los espesores varían entre 3 y 6 m y más de 16 m en bahía Honda. De colores gris beige e incluyen fracciones más finas.

En el interior de las bahías de bolsa predominan las arcillas y los limos terrígeno-carbonáticos. La componente carbonática puede ser biogénica o puede provenir de la erosión de las rocas emergidas, sobre todo en el caso de bahía de Mariel. En bahía de La Habana los sedimentos presentan alto contenido de metales pasados (Pb, Zn, Cu, M, O, Cd, Ag, Cr, Co, Ni, V y Mn, reportados por González *et al.*, (1985), debido a las grandes descargas de aguas residuales domésticas e industriales.

Los sedimentos de las bahías presentan, a veces, estratificación de depósitos turbáceos. También contienen fracciones arenosas, llegando a limos arcillosos. En el caso de bahía Honda se han cortado a la profundidad de 22,7 m arcillas grises con turbas intercaladas. También hay intercalaciones de drusas y concreciones de yeso más arriba, cubiertas por un espesor de 2,8 m de limos, (Estrada *et al.*, 1989). El yeso constituye concentraciones químicas en las aguas, mediante el proceso de meteorización y su posterior precipitación al ser saturadas. Los sedimentos sobreyacen la superficie intemperizada de las mismas rocas que afloran en los bordes de las bahías. Son de color gris oscuro y verde grisáceos.

La bahía de Matanzas por ser abierta presenta una distribución de los depósitos de su fondo distinta a las bahías anteriormente descritas. Una parte considerable de su fondo está desprovista de sedimentos, aflorando las calizas de la Formación Jaimanitas. En el resto del territorio se cubren por limos y limos arcillosos carbonático-terrágenos. Su espesor no debe ser significativo, por estar en contacto con el mar abierto. En dirección este se desarrollan arrecifes coralinos.

## Plataforma norcentral

**Cayos.** Las rocas más antiguas que afloran en este territorio corresponden al Eoceno Inferior y Medio parte baja, de la Formación Caibarién ( $P_2^{1-2}$  cab). Se localizan frente a las costas de la ciudad de Caibarién, en los cayos Conuco, Punta del Muerto y Ratones. Le siguen en antigüedad las rocas de la Formación Güines correspondientes al Mioceno Medio-Mioceno Superior parte alta ( $N_1^{2-3}$  gn), que afloran en los llamados Cayos de Piedra de Sancti Spiritus, ubicados en la bahía de Buena Vista, dispuestos en una fila y



separados por canales. Estos parecen ser remanentes de la erosión diferencial, que forman mogotes en una costa que actualmente es acumulativa.

A diferencia de otros sectores de la plataforma marina insular cubana, en este sector afloran, además de los depósitos de la Formación Jaimanitas, depósitos de otras formaciones del Pliocuaternario y el Cuaternario (Alegrías, Romano, Cayo Guillermo, La Cabaña y Los Pinos). La descripción de las formaciones del Terciario aparece en las descripciones de investigaciones realizadas en el territorio emergido, por lo que aquí se omiten.

EDAD	DEPOSITOS	DESCRIPCION DE LOS DEPOSITOS Y CARACTERISTICAS DE SU DISTRIBUCION
HOLOCENO	a	Limos arenosos ( <i>m/a</i> ). Biogénico- carbonáticos con abundantes restos de mangles y de conchas. De colores grises a claros. Espesor hasta 4 m. Se distribuyen por la zona interior.
	b	Arenas ( <i>pre</i> ). Biogénico-carbonáticas. De color claro a crema. Forman cuerpos aislados de hasta varios metros de espesor. Son extensos frente a playa Varadero y algunos cayos.
	c	Arena gruesa ( <i>psa</i> ). Biogénico-carbonáticas, de colores claros. Forman escasos cuerpos aislados en la zona interior y en los deltas de marea.
	d	Limos ( <i>plm</i> ). Biogénico-carbonáticos, con restos de mangles y en menor cantidad de conchas, a veces subyacen los limos arenosos y horizontes conchíferos. De colores grises a claros. Espesor hasta 2-3 m. Se distribuyen por la zona interior.
	e	Depósitos marinos ( <i>mQ2</i> ). Playas, camellones de tormentas y barras emergidas (cayos). Coloración de crema a gris-oscuro. Espesor de 2-3 m. Se ubican en el lado norte de algunos cayos.
	f	Depósitos palustres ( <i>pQ2</i> ). Restos de mangles y limos calcáreo- biogénicos, con biolotoclastos. Colores oscuros. Espesor 2-3 m. Frecuentemente se localizan formando cayos o parte de éstos en la zona interior.
	g	Turbas. Forman finos horizontes dentro de los depósitos friables y la base de los depósitos palustres más recientes. Pueden yacer en la superficie intemperizada de la Fm. Jaimanitas. Color pardo oscuro. Se encuentran en la zona interior de la plataforma.
	h	Arrecifes en la zona exterior de la plataforma.
		Fm. Los Pinos. Calcarenitas oolíticas y biocalcarenitas de granos medios, en ocasiones con laminación oblicua. Color blanco y crema. Hasta 7 m. de espesor. Forma paleobarras en los cayos Santa María, Paredon Grande, Guillermo, Coco, Romano, Sabinal, Cruz y otros.
		Fm. Guillermo. Calcarenitas oolíticas, biocalcarenitas y calizas detríticas de laminación cruzada. Gris-cremas. Espesor 12 m. Forman paleodunas en los cayos Guillermo, Contrabando, Coco e Hijos de Guillermo.
PLEISTOCENO SUPERIOR	TARDIO	Fm. La Cabaña. Biocalciruditas de matriz calcarenítico-margosa, formadas por nódulos de algas y conchas de moluscos. Blanco-cremas. Espesor < 5 m. Forma paleobarras en los cayos Coco, Romano y Sabinal.
	TEMPRANO	Fm. Jaimanitas. Calizas biotetríticas masivas, intemperizadas, carstíficas, fosilíferas. Pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas. Blancuzcas, rosáceas o amarillentas. Espesor visible hasta 40 m. Se encuentran en los cayos rocosos y en los substratos del fondo marino y los cayos palustres.
PLEISTOCENO MEDIO		Fm. Cayo Romano. Calizas oolito-pisolíticas de color rojizo oscuro. Espesor < 10 m. Aflora al pie de la Silla de cayo Romano y en los cayos Ballenatos de Bahía de Nuevitás.
PLEISTOCENO INFERIOR		
PLIOCENO SUPERIOR PLEISTOCENO INFERIOR		Fm. Alegrías. Calcarenitas y biocalcarenitas de granos medios, bien cementados. Color crema. Espesor > 20 m. Geográficamente se distribuyen en los cayos Sabinal, Guajaba y Romano.
MIOCENO MEDIO SUPERIOR		
EOCENO INFERIOR Y MEDIO		

Fig.5. Columna litoestratigráfica generalizada de la plataforma norcentral.



## Descripción de las formaciones

### Alegrías, Formación (al)

**Autor.** Iturralde- Vinent, 1981.

**Referencia original.** Texto explicativo del mapa geológico a escala 1: 250 000 del territorio Ciego- Camagüey - Las Tunas. Brigada cubano- búlgara. Inst. Geol. Paleont. Acad. Cienc. Cuba. La Habana (inédito).

**Origen del nombre.** Proviene de las lomas Alegrías del Río en cayo Sabinal, archipiélago Sabana- Camagüey.

**Área tipo.** Lomas Alegrías del Río y el Jato en cayo Sabinal.

**Holoestratotipo.** Cantera abandonada en loma El Jato.

**Coordenadas Lambert..** x- 878 000, y- 208 000.

**Hoja topográfica.** Nuevitas, 4780.

**Distribución geográfica.** En las elevaciones mayores de los cayos del archipiélago Sabana- Camagüey, comprendidos entre Las Tunas y Ciego de Ávila, es decir, cayo Sabinal, cayo Guajaba (loma Los Hornos y Silla de Lois Mae o Jato) y cayo Romano (altos de Juan Sáez, El Ají y Silla de cayo Romano).

**Litología.** Calcarenitas y biocalcarenitas de granos medios, bien cementadas, sin macrofauna, masivas, constituidas por restos muy rodados de algas calcáreas, foraminíferos y entre 2 y 15 % de granos de cuarzo, plagioclasa y rocas volcánicas. Aparecen recristalizadas y carstificadas en superficie, formando un casquete de 1 a 3 m de espesor, como resultado de la meteorización, la cual también provoca la desintegración a mayor profundidad, convirtiendo la roca en un material terroso. No se observan estructuras sinsedimentarias. Color crema.

**Relaciones estratigráficas.** De los depósitos que la infrayacen solo se conoce que en una perforación en playa Los Pinos se cortaron a los 38 m de profundidad limos arcillosos negros con caparazones. En cayo Romano está cubierta por la Formación Romano. Lateralmente contacta de forma discordante con la Formación Jaimanitas. Es probable que sus equivalentes laterales sean las rocas cortadas por perforaciones en playa Los Pinos, cayo Sabinal y se trata de calcarenitas finas bioturbadas y recristalizadas, calizas biogénico- detríticas y calizas biogénico- oolítico- peletales.

**Correlación.** Tiene posible correlación con las formaciones Guane, Vedado, Bayamo, Dátil y Río Maya.

**Conjunto faunístico.** No se ha detallado.

**Edad.** Sobre la base de su posición estratigráfica y sobre todo por su relativo alto grado de litificación se le asigna una edad probable Plioceno Superior- Pleistoceno Inferior.

**Ambiente de sedimentación.** Corresponde a una costa acumulativa arenosa de bajos costeros, playas, barras y probablemente dunas costeras, en comunicación con el territorio emergido por medio de canales de marea.

**Espesor.** Mayor de 20 m.

### Jaimanitas, Formación (js)

Solo se tratan aspectos específicos para esta parte de la plataforma, tales como: distribución geográfica, litología, relaciones estratigráficas, conjunto faunístico, ambiente de sedimentación y espesor. Los demás coinciden con los que se registran en la literatura para el territorio emergido.



**Distribución geográfica.** Cubre de manera total o parcial la superficie de los cayos rocosos. Constituye el substrato de los sedimentos de los cayos donde no afloran rocas y del paleofondo marino, en el cual también aflora con frecuencia.

**Litología.** Está representada por calizas biodetríticas masivas, fuertemente carstificadas, fosilíferas con conchas, corales y biohermas de especies que aun viven. Las calizas pasan a calcarenitas masivas o finamente estratificadas. La cementación es variable y la coloración blancuzca, rosácea o amarillenta, con una costra evaporítica y caliches combinados de espesor de 1-2 m, de color rojizo y blanco. La infiltración de las aguas meteóricas produce una fuerte intemperización por debajo de esta cubierta de meteorización, que desintegra la roca en un material terroso similar a lo que ocurre en la Formación Alegrías. El relieve de la superficie es plano y solo en las costas septentrionales de los cayos se forman acantilados, con altura variable dentro de la primera decena de metros, presenta hasta 2-3 niveles de abrasión. En algunos cayos aparece una terraza baja compuesta de fragmentos grandes coralino-conchíferos (terracea holocénica o cero). Hay también cavernas y canales de mareas.

**Relaciones estratigráficas.** Su techo puede ser erosivo o puede estar cubierto por las formaciones Cayo Guillermo, La Cabaña y Los Pinos; así como por depósitos de turbas y otros depósitos innominados del Holoceno. Parece ser sincrónica con la Formación Romano. No se conoce el subyacente.

**Conjunto faunístico.** Se observa una abundante cantidad de fósiles: bivalvos, gastrópodos, equinodermos, pelecípodos, algas, corales en posición de vida, ostrácodos, *Strombus gigas* y numerosos foraminíferos pertenecientes a la familia de los *Peneroplidae*, *Amphisteginidae*, *Miliolidae*, *Soritidae*, *Rotalidae*, *Homotreumatidae* y *Acervulinidae*. Tal como se puede observar los fósiles tienen un gran diapasón de distribución que abarca desde el Mioceno hasta el Cuaternario.

**Ambiente de sedimentación.** Corresponde a facies arrecifal y de playa.

**Espesor.** Alcanza un espesor visible de hasta 40 m.

### **Cayo Romano, Formación (cro)**

**Autor.** Iturralde-Vinent, 1981.

**Referencia original.** Texto explicativo al mapa geológico a escala 1:250 000 del territorio Ciego-Camagüey-Las Tunas. Brigada cubano-búlgara. Inst. Geol. Paleont. Acad. Cienc. Cuba. La Habana (inédito).

**Origen del nombre.** Proviene de cayo Romano.

**Area tipo.** Aflora al pie de las laderas de la Silla de cayo Romano.

**Holoestratotipo.** No fue reportado por el autor.

**Coordenadas Lambert.** x-847 400, y-244 500

**Hoja topográfica.** Pasa Guajaba.

**Distribución geográfica.** Aflora al pie de las laderas de la Silla de cayo Romano y en los cayos Ballenatos de bahía de Nuevitas.

**Litología.** En su sección tipo se trata de calizas oolito-pisolíticas de color rojizo oscuro. Los oolito-pisolitos varían entre milimétricos y hasta 5 cm de diámetro, presentando una estructura muy singular. El núcleo puede ser de gastrópodos, fragmentos de sus conchas o de rocas. Los gastrópodos están rellenos de oolitos y fragmentos de rocas, cementados por carbonato de calcio de color marrón oscuro. Otros núcleos son carbonato de calcio de color negrusco y este mismo material forma una capa de 1-2 mm alrededor de las conchas de moluscos. Por fuera de la capa oscura se forma una capa de color rojo pardo de 1-2 mm de ancho, que es la que contacta con la matriz de la roca. Dicha capa está formada por finas láminas concéntricas de carbonato de calcio teñido de rojo. La matriz es calcítica, detrítica a biodetrítica de color rojizo pardusco. En los





cayos Ballenatos los depósitos de esta formación se diferencian de los de cayo Romano en que el núcleo de los pisolitos está constituido por brechas de las rocas infrayacentes.

**Relaciones estratigráficas.** Yace discordantemente sobre calizas de la Formación Alegrías (en cayo Romano) o sobre rocas del Eoceno Superior (en los cayos Ballenatos). Su techo puede ser erosivo o estar cubierto por sedimentos arcillosos. Su posición discordante sobre la Formación Alegrías se distingue por su composición litológica, por la presencia de moluscos terrestres y por su posición morfológica, que constituye una banda que rodea la loma. Transiciona lateralmente con las biocalcarenitas y calizas coralinas de la Formación Jaimanitas.

**Correlación.** Es correlacionable con las formaciones Jamaica, Cauto, Camacho y Jaimanitas.

**Conjunto faunístico.** No ha sido determinado.

**Edad.** Sobre la base de su posición estratigráfica, su edad se estima como posible Pleistoceno Superior temprano.

**Ambiente de sedimentación.** Constituye sedimentos eluvio-coluvio-proluviales y quimogénicos marinos, depositados en un mar muy somero de oleaje moderado, que los reelaboró.

**Espesor.** Alrededor de 10 m.

### **Cayo Guillermo, Formación (cgu)**

**Autor.** Iturralde- Vinent, 1981.

**Referencia original.** Texto explicativo al mapa geológico a escala 1: 250 000 del territorio Ciego- Camagüey -Las Tunas. Brigada cubano- búlgara. Inst. Geol. y Paleont. , Acad. Cienc. Cuba. La Habana (inédito).

**Origen del nombre.** Proviene de cayo Guillermo.

**Area tipo.** Cayo Guillermo.

**Holoestratotipo.** Extremo noroeste de cayo Guillermo.

**Coordenadas Lambert..** x- 736 480, y- 311 020.

**Hoja topográfica.** Cayo Guillermo, 4483 -I.

**Distribución geográfica.** Aflora en los cayos Guillermo, Contrabando, Coco e Hijos de Guillermo.

**Litología.** Calcarenitas oolíticas y pseudoolíticas, biocalcarenitas homogéneas y bien seleccionadas con los granos redondeados y calizas biodetríticas, con matriz micrítica, todas de granos finos a medios, con bioturbación. Se pueden distinguir hasta tres horizontes de laminación cruzada con inclinación de 0 a 30° al noreste-suroeste y sureste-noroeste en el área tipo y noreste, sur y sur-suroeste en punta Coco, cayo Coco. Los mismos se encuentran separados por superficies levemente alteradas (diastemas). Color gris-crema con un casquete de meteorización gris oscuro. En su conjunto estos depósitos forman colinas de rumbo este-oeste.

**Relaciones estratigráficas.** Yace discordantemente sobre calizas de la Formación Jaimanitas, su techo es erosivo o está cubierto por arenas finas no consolidadas.

**Correlación.** Es correlacionable con las formaciones Playa Santa Fe, La Cabaña, Sigüanea y Salado. Se asemeja por su composición a la Formación Cocodrilo.

**Conjunto faunístico.** Entre los biodetritos hay algas miliolidos, soritidae, equinodermos, etc.

**Edad.** Sobre la base de su posición estratigráfica y su grado de litificación, su edad se estima como posible Pleistoceno Superior tardío (Wisconsin).

**Ambiente de sedimentación.** Corresponde a dunas costeras, formadas en un clima tropical con dos estaciones bien definidas: una seca, con movimiento de arenas y de crecimiento de las dunas y otra húmeda, con proliferación de vegetación rastrera y





fijación de la duna. Esto parece haber ocurrido en varios ciclos por la presencia de diastemas.

**Espesor.** 12 m.

### **La Cabaña, Formación (Icb)**

La misma aflora, además, en territorios de la Isla de Cuba, aunque no contiguo a esta parte de la plataforma marina insular. Por otra parte, sus afloramientos aquí han sido prácticamente extinguidos al ser utilizados como material de relleno en la construcción de viales, por lo que sus restos podrían ser cartografiado solo a gran escala.

Sus depósitos constituían paleobarras de menos de 5 m de espesor, orientadas normal a la línea de costa. Corresponden a calizas y calcarenitas poco consolidadas y con una alta porosidad debido al empaquetamiento no compacto del abundante material existente, principalmente conchas y al débil rellenamiento de sus cámaras. Color blanco a crema. Predomina la matriz de contacto, pero es muy común observar también matriz de relleno. El contenido margoso es bajo con relación a otras partes del archipiélago cubano.

### **Los Pinos, Formación (Ipi)**

**Autor.** Iturralde-Vinent, 1981.

**Referencia original.** Texto explicativo al mapa geológico a escala 1:250 000 del territorio Ciego-Camagüey- Las Tunas. Brigada cubano-búlgara. Inst. Geol. Paleont., Acad. Cienc. Cuba. La Habana (inédito).

**Origen del nombre.** Proviene de playa Los Pinos, cayo Sabinal.

**Area tipo.** Costa norte de cayo Sabinal.

**Holoestratotipo.** En playa Los Pinos al oeste de punta Central en cayo Sabinal.

**Coordenadas Lambert..** x-771 3 00, y-214 6 01.

**Hoja topográfica.** Carabelas 4781-III

**Distribución geográfica.** En los cayos Sabinal, Cruz, Coco, Guillermo, Paredón y Santa María.

**Litología.** Calcarenitas oolíticas y biocalcarenitas de granos medios, bien redondeados y bien seleccionados, en ocasiones con laminación oblicua. Color blanco y crema

**Relaciones estratigráficas.** Sobreyace discordantemente la Formación Jaimanitas, estando separado de ésta por un paleosuelo o una superficie fuertemente intemperizada. A veces, está cubierta por arenas, que son el resultado de su propia desintegración bajo el efecto de los procesos de intemperismo. También se cubre, en partes, por depósitos turbáceos y arenas actuales.

**Correlación.** No han sido establecidos depósitos similares.

**Conjunto faunístico.** No ha sido reportado.

**Edad.** Teniendo en cuenta su bajo grado de litificación y poca alteración se estima su edad como posible holocénica temprana.

**Ambiente de sedimentación.** Corresponde a un ambiente de costa baja acumulativa con barras y playas, o sea, el complejo de sedimentos marinos de la interface tierra-mar, existente durante la transgresión Flandriana, cuando el nivel del mar se elevó por encima del actual, según atestiguan los depósitos propiamente marinos aquí presentes.

**Espesor.** Puede alcanzar hasta 7 m.



## Depósitos holocénicos innominados

**Palustres (pQ<sub>2</sub>).** Están constituidos por turbas y limos calcáreos biogénicos ricos en testas de crustáceos, con bioclastos y litoclastos (brechas de marea), de colores oscuros. Su contorno está determinado por la vegetación de manglares, que se desarrolla en cayos, en el nivel de pleamar y bajíos, donde en bajamar las raíces de los árboles se desplazan hacia el agua. Los mangles son una importante fuente de sedimentos biogénicos limosos y turbáceos. Estos últimos, según Zenkovich e Ionin, (1969), se acumulan en estado puro solo en los cayos que están lejos de las posibles fuentes de aporte de material terrígeno, donde llegan alcanzar más de 1,0 m de espesor.

**Marinos (mQ<sub>2</sub>).** En este territorio los depósitos marinos se determinan por el conjunto de depósitos de la costa norte de los cayos de la zona exterior. El mismo está constituido por playas, camellones de tormentas y cayos de arenas. Aquí las playas son más complejas que en la zona interior. Se componen de arenas bioclásticas y biolitoclásticas, con diferente grado de rodamiento. Tienen un ancho desde 2- 4 m hasta 30-40 m y tienen una pendiente suave hacia al mar. El acarreo de las arenas hacia al interior de los cayos por las corrientes, el oleaje y el viento origina series de barras y dunas. En las costas rocosas sin arrecifes frontales de protección se forman camellones de tormentas, compuestos por corales, *Strombus gigas*, cantos y bloques de la Formación Jaimanitas y residuos antrópicos.

Los cayos de arenas, que están parcialmente cubiertos por manglares están formados por arenas biogénico-carbonáticas, de diferentes granulometrías con predominio de la media y la gruesa. Color crema. Pueden alcanzar hasta 2-3 m de elevación sobre el nivel medio del mar, como en cayo Cruz. Se formaron y continúan formándose a partir de las concentraciones de arenas mediante su transportación por las olas y las corrientes hacia las partes más bajas del fondo marino, produciendo barras y bancos primero y flechas después, orientadas, generalmente, de este a oeste.

**Fondo marino.** Los sedimentos de la zona exterior están constituidos, predominantemente, por arenas no clasificadas según su variación granulométrica (*pre*), con predominio de las fracciones gruesas, aunque a veces pueden abundar las finas y las medias. Las partículas más finas han sido y son lavadas por la acción del oleaje y las corrientes. Los granos están muy bien seleccionados o clasificados. Características particulares tienen los sedimentos de los canales de marea y los deltas de flujo y reflujo al lado norte de cayo Frágoso. Según señalan Ionin, *et. al.*, (1972), los mismos se distinguen por su mala clasificación y por ser muy gruesos. Su composición refleja la gran volubilidad del régimen hidrodinámico en la acumulación de sedimentos y también es testigo de las altas velocidades del movimiento de las aguas que están a ras del fondo, lo que contribuye al lavado de las fracciones más finas. En general, las arenas son bioclásticas, provenientes de fragmentos de moluscos (bivalvos y gasterópodos, fundamentalmente) y de algas (predominantemente *Halimeda* sp.).

Los valores promedio del contenido de carbonatos totales supera el 85 %, mientras que los valores de carbono orgánico son los más bajos de toda la plataforma marina de Cuba, con promedio de 1,44 %, lo que está determinado por la ausencia de sustancias vegetales y de partículas arcilloso- limosas, que son las portadoras de la mayor parte de la materia orgánica en los sedimentos. El color varía de blanco a crema.



Los mayores espesores de las arenas en la zona exterior se alcanzan en las formas cársticas negativas del relieve. Las más desarrolladas son las barras que se acumulan en las depresiones retroarrecifales casi paralelas a la costa de la península de Hicacos, cartografiadas casi en su totalidad por Foyo, (1982). Alcanzan unos 13 m de espesor de arenas como máximo, pero su espesor es variable, porque se distribuyen irregularmente en forma de lentes, también es variable el volumen de arenas entre una barra y otra. En general, su mayor distribución la alcanzan en el lado meridional de las formaciones coralinas. Están ausentes o forman una capa centimétrica sobre éstas y en su lado septentrional contiguo.

No se conoce bien el carácter de la distribución de las arenas en las diferentes formas del relieve ubicadas entre el borde exterior de la terraza prearrecifal y el borde superior del talud insular, pero donde se han hecho investigaciones sismoacústicas, como es el caso de la parte central del archipiélago Sabana-Camagüey (Cabrera *et al.*, 1997), la superficie se encuentra prácticamente desprovista de sedimentos, por lo que esta parte se consideró como afloramientos de la formación Jaimanitas, que es lo común para el resto del paleofondo de este sector de plataforma.

La zona interior de la plataforma de este territorio se comunica con el mar abierto solamente por pasas y canales, a través de los cuales se realiza el intercambio de aguas, el cual se dificulta por la gran cantidad de accidentes geográficos existentes (cayos, puntas, bancos, barras, etc.), la poca profundidad de las aguas, que raras veces excede los 4 m y su patrón de circulación, que se caracteriza por una amplitud media de la marea de 40 - 60 cm y la máxima de 120 cm, en los canales y pasas existentes entre los cayos que bordean la macrolaguna. Cerca de la costa de la Isla de Cuba la amplitud máxima de las mareas no excede los 10 - 20 cm y por último el débil oleaje, provocado por los vientos del este (alisios) y del norte (frentes fríos), determina la existencia aquí de un régimen hidrodinámico débil, que diferencia el régimen de sedimentación ostensiblemente con relación al de la zona exterior.

Los sedimentos de la zona interior están constituidos por limos arenosos (*m/a*), limos (*plm*) y arenas (*pre*). Los más finos son los más extendidos, mientras que los cuerpos de arenas constituyen bancos y barras aislados. Las mismas son de granos finos a medios bien seleccionados. Estas formas acumulativas corresponden a detritos de conchas enriquecidos por el lavado de las fracciones finas, reelaborados, transportados y concentrados por el oleaje y las corrientes superficiales producidas por los vientos del noreste y el este; así como por las corrientes laterales, que contribuyen a la deriva hacia al oeste de las partículas de sedimentos en suspensión. A veces estas afloran y en algunos casos constituyen la continuación de algunos cayos, como por ejemplo, cayo Paredón Grande y cayo Cruz. Su substrato está constituido por limos, turbas y calizas de la Formación Jaimanitas.

Es escaso el aporte de material terrígeno y las partículas que existen están compuestas, por ejemplo, en bahía de Cárdenas (Alvarez y Quintana, 1988), por fragmentos de rocas y algunos minerales como circón, aragonito, calcita, cuarzo, turmalina, epidota, estauroлита y andalucita. Los contenidos de carbonatos son relativamente altos, lo que se debe a la abundante presencia de restos de moluscos, algas y foraminíferos, en lo fundamental, aunque siempre son menores que en la zona exterior y esto es debido, sobre todo, al elevado contenido de materia orgánica vegetal que hace descender el por ciento de carbonatos. Por el contrario, el carbono orgánico tiene valores altos (3,4 % de promedio), debido, además, a la presencia de abundantes fracciones limoso-arcillosas.



El corte vertical no ha sido estudiado para todo el territorio. Hasta donde se conoce por las perforaciones realizadas por Ionin *et al.*, (1972 a, 1977) y Gil, (1988), el espesor es del orden de los primeros metros. Los sedimentos finos son color gris oscuro y las arenas de gris claro a blanco. Los depósitos están dispuestos en horizontes homogéneos o mezclados según las variedades aquí presentes, en cuanto a composición y granulometría. Al sur de los cayos Coco y Romano, en los primeros 20-30 cm los sedimentos finos contienen abundantes fracciones arenosas y a continuación son más puros y plásticos. Se presentan lentes constituidos por conchas. También pueden encontrarse localmente depósitos de turbas, formando el substrato de los sedimentos finos o intercalados entre éstos, como es el caso de bahía de Nuevitas, en general, el substrato corresponde a la superficie fuertemente intemperizada de las biocalcarenitas y calizas biogénicas de la Formación Jaimanitas, con carácter discordante, y probablemente de rocas más antiguas al norte de Sancti Spiritus y Caibarién, donde afloran en cayos rocas de la formaciones Güines y Caibarién, respectivamente. Las variaciones del relieve cárstico se observan desde las superficies aplanadas del fondo hasta los salientes, que constituyen cayos en unos casos o el fundamento rocoso en otros.

Las principales fuentes de aporte de los sedimentos de la plataforma marina, en general, son las siguientes: restos de moluscos, algas, foraminíferos, mangles y una serie de restos biogénicos pertenecientes a otros grupos menos abundantes, entre los cuales se encuentran los siguientes: anélidos, briozoos, equinodermos, poríferos, celenterados y crustáceos. Actualmente la barrera coralina no constituye una fuente de aporte de sedimentos a la plataforma. El material detrítico que en ésta se produce debe transportarse a las grandes profundidades, que están fuera del área de la plataforma y las diferentes formas del relieve existentes entre la plataforma y el talud insular.

Los moluscos constituyen el elemento faunístico más abundante en los sedimentos. Sus restos están constituidos por gasterópodos, bivalvos, y escafópodos. Los foraminíferos encontrados son bentónicos de los denominados pequeños y se destacan por su abundancia, difusión y sistemática. El predominio de las formasaporcelanadas, el poco desarrollo de las formas aglutinadas y la ausencia de formas planctónicas son propios de aguas someras de altas salinidad y temperatura.

Las formaciones coralinas constituyen arrecifes de barrera, que sirven de límite exterior a las lagunas (bahías) retroarrecifales, que alcanzan de 15 a 20 km de ancho. Las interrupciones de la continuidad de la barrera; así como su desplazamiento lateral está vinculado a bloques, fallas activas y al movimiento de las aguas turbias a través de los canales de marea, que impiden el desarrollo de las colonias. Aquí son escasos los bancos y en consecuencia no juegan un papel importante para la caracterización de la zona.

### **Sector intraplatafórmico bahía de Nuevitas-punta de Maisí**

Los puntos más importantes de acumulación de sedimentos se encuentran en las bahías y las ensenadas, las cuales están ocupadas por depósitos de diferentes granulometrías, que en la superficie se presentan como una serie de parches compuestos por gravas, arenas, limos, arcillas y sus combinaciones. Predomina la granulometría fina y la mala selección de los granos. La composición es predominantemente terrígena hacia al interior de las bahías y carbonática hacia las partes exteriores, sobre todo en los canales de acceso, donde, además, son arenosos, con espesores del orden de los primeros metros, con granulometría media y fina. En la bahía de Moa existen acumulaciones de lodos



calcáreos, algo plásticos, de color gris, con un espesor máximo de 4 m, alrededor de cayo Moa Grande. Hacia al interior de la bahía pasan a ser terrígenos de color rojizo.

Los depósitos carbonáticos son de origen biogénico, provenientes de moluscos, principalmente, y en menor cuantía algas calcáreas, foraminíferos, y corales, entre otros. Los terrígenos están relacionados con el transporte fluvial desde los territorios emergidos y su composición mineralógica varía en dependencia de las fuentes de aporte.

Es típico que hacia al centro de las bahías se encuentren en la superficie del fondo varios metros de limos plásticos de color verde grisáceo, con fauna marina. En las bahías donde se cuenta con datos de perforación, como en Vita, Jururú, Gibara, Puerto Padre, Nipe y Levisa, se conoce que la sección vertical del corte se caracteriza por su heterogeneidad granulométrica y composicional, alternándose, en ocasiones, los horizontes o lentes de limos, arenas y gravas de diferentes colores, inclusive con horizontes de turbas, como es el caso de Puerto Padre, es decir, hay una significativa complejidad facial. Yacen sobre la superficie intemperizada de los diferentes tipos de rocas que componen el fondo. Ionin y sus colaboradores, (1977), señalan que en las bahías de Nuevitas, Nuevas Grandes, Manatí-Sabanalamar y Puerto Padre se observa la presencia de arcillas y limos de color chocolate y rojo, cubiertas por los sedimentos recientes, formadas en condiciones subaereales, que cubren de forma parcial la superficie de las calizas del paleofondo carstificada y dislocada tectónicamente.

Según datos de las perforaciones de hasta más de 30 m de profundidad, correspondientes a más de una decena de proyectos, realizados por la ENIA (ver listado de informes en la bibliografía), en diferentes partes de la bahía de Nipe; así como los datos obtenidos por Ionin *et al.*, (1977), mediante perforaciones y perfilaje sismoacústico, se puede apreciar lo siguiente: los depósitos superficiales yacen sobre depósitos arcillosos plásticos, de color carmelita a veces amarillento-verdoso, con vetas de óxido de hierro, su consistencia es de media a dura. Las arcillas tienen un espesor aproximado de 30 m y yacen, a su vez, sobre la superficie intemperizada de calizas. En los alrededores de Nicaro y Felton el corte se compone de depósitos palustres de color gris oscuro. Compuestos por limos, arcillas, y limos arcillosos, que en los primeros metros tienen una gran fluidez debido a su contacto directo con el agua, haciéndose más duros y plásticos hacia la profundidad, con fracciones arenosas de fragmentos de conchas y caracoles, los cuales pueden formar lentes. También pueden haber concreciones de yeso.

En Nicaro y Felton dentro de los sedimentos friables se encuentran bloques intemperizados de calizas de la Formación Jaimanitas, lo cual es verdaderamente sorprendente a tal distancia del mar abierto, pues esto es común para las desembocaduras y sus proximidades. El subyacente está representado por arcillas de color carmelita con fracciones de gravas, con consistencia de media a dura. Aquí no se define la composición de las arcillas y las gravas, pero debe ser carbonática, como ocurre en otras partes del territorio de la bahía de Nipe. Tampoco se define su edad, pero deben ser precuaternarias. Su techo es muy irregular, lo cual se demuestra con la variación de profundidad a que se localiza, por ejemplo, en 8 perforaciones realizadas en la pequeña área de la toma de agua para la Siderúrgica de Felton su superficie fue cortada a los 9, 19, 22, 30 y 32 m, respectivamente.

El espesor es variable para las diferentes bahías y para diferentes partes de éstas. En las que son cerradas y están próximo a los macizos montañosos, pero precedidas de llanuras marino-fluvial, con abundante transporte de sedimentos terrígenos, hay decenas de





metros de sedimentos, por ejemplo en Mayanabo-Nuevititas hasta 35 m, Puerto Padre 20-25 m y Nipe más de 30 m, mientras que en Banes hay solo de 2- 5m. En las bahías de la parte más oriental, que son más abiertas, el espesor no supera los 4 m. Los mayores espesores siempre se encuentran hacia al interior de las bahías. En los canales de entrada son escasos o están ausentes los sedimentos.

La juventud de los depósitos que ocupan las bahías se demuestra por la ausencia de litificación. Los más antiguos de los que han sido investigado no parecen sobrepasar algo más de la mitad del Holoceno; así lo indican determinaciones radiométricas por el método C 14 (Tab. 1).

Tab.I. Determinaciones radiométricas en sedimentos de la bahía de Puerto Padre (tomado de Ionin *et al.*, 1977)

Indice de la muestra	Material	Posición hipsométrica	Edad, en años
GIN-603	Limo orgánico Cala 394	-11 m Horizonte 125-190 cm	5980 $\pm$ 140
GIN-715	Idem 129	-12 Horizonte 255-315 cm	6500 $\pm$ 150

### Sector intraplatafórmico Maisí-cabo Cruz

Los cuerpos acumulativos en este sector se limitan a las bahías cerradas (Baitiquirí, Puerto Escondido, Guantánamo y Santiago de Cuba), la bahía abierta de Pílon y a las pequeñas ensenadas. De éstos se tiene muy escasa información. Los datos se limitan a las cartas náuticas, al Derrotero de las Costas de Cuba, algunas observaciones costeras del autor principal de este trabajo y algunos datos de perfilaje sismoacústico y muestreo, realizados por Ionin *et al.*, (1977), y de muestreo según investigaciones de Villasol *et al.*, (1988), en la bahía de Santiago de Cuba.

En el interior de las bahías cerradas y en la ensenada de Cabañas predominan los limos y las arcillas de composición terrígena y colores oscuros. En el canal de entrada los sedimentos son arenosos, biogénico-carbonáticos y de colores claros. En la bahía de Santiago de Cuba los depósitos están formados por limos arenosos, con conchas de moluscos hacia al interior de la bahía y restos de algas *Halimeda* hacia al canal de acceso, que yacen sobre arcillas. Los limos y las arcillas superan los 10 m de espesor y sobreyacen la superficie intemperizada de calizas neógeno-cuaternarias, que incluyen la Formación Jaimanitas. El resto de los cuerpos acumulativos del sector Maisí-cabo Cruz están formados por arenas, gravas y guijarros. Son, predominantemente, terrígenos y de colores oscuros. Los componentes biogénicos responden a fragmentos de corales, *Strombus*, bivalvos, equinodermos, crustáceos, etc. Los clastos aparecen muy re trabajado por el mar, lo que se denota por su superficie pulida y por su alto grado de redondeamiento. La superficie de los pequeños depósitos presenta un perfil inclinado hacia mar abierto.





## Plataforma suroriental (Figs. 6 y 7)

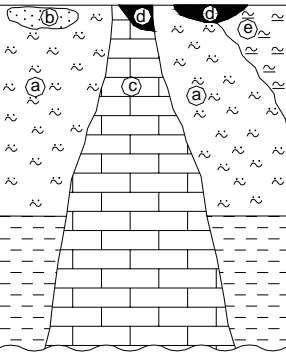
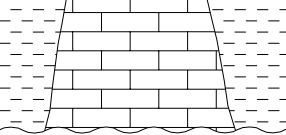
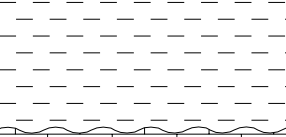
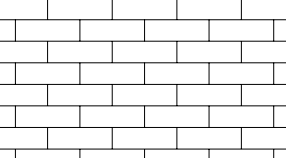
EDAD	DEPOSITOS	DESCRIPCION DE LOS DEPOSITOS Y CARACTERISTICAS DE SU DISTRIBUCION
HOLOCENO		<p>a) Limos arenosos, plásticos de color gris a verde y azulados. Localizados en la zona interior. Espesor hasta 20 m.</p> <p>b) Cuerpos pequeños arenosos de detritos biogénicos.</p> <p>c) Formaciones coralinas, con la base hundida hasta 50 m de profundidad en sedimentos de la zona interior.</p> <p>d) Depósitos palustres, formando cayos sobre los limos o en la superficie de formaciones coralinas muertas total o parcialmente.</p> <p>e) Limos arcillosos cerca de la zona costera, sobreyaciendo, probablemente, a los limos arenosos o depósitos más antiguos.</p>
		<p>Limos arcillosos compactos de color verde oscuro. Constituyen derrubio de una corteza de intemperismo. Se localizan en la zona interior de la plataforma hasta la profundidad de 20-30 m.</p>
PLEISTOCENO SUPERIOR	TEMPRANO 	<p>Arcillas compactas rojo-carmelitasas. Se encuentran en la zona interior subyaciendo las formaciones coralinas y en la zona costera.</p>
	TARDIO 	<p>Fm. Jaimanitas. No está documentada. Se ubica en la zona exterior donde puede constituir el sustrato de formaciones coralinas y en la base de algunos cayos.</p>
	?	

Fig 6. Columna litoestratigráfica generalizada de la plataforma suroriental. Golfo de Guacanayabo.



EDAD	DEPOSITOS	DESCRIPCION DE LOS DEPOSITOS Y CARACTERISTICAS DE SU DISTRIBUCION
HOLOCENO	(a)	(a) Limos arenosos (mla). Biogénico- carbonáticos y abundantes restos de mangles y de conchas. De colores grises a claros. Espesor ≈ 1 m. Se distribuyen por la zona interior.
	(b)	(b) Limos arcillosos (mlc). Contienen conchas de moluscos, restos de mangles y arrastre terrígeno. Su coloración es de gris-verdoso o gris azulado a clara. Se encuentran próximo a la costa.
	(c)	(c) Arenas (pre). Biogénico-carbonáticas. De color claro a crema. Forman cuerpos aislados de hasta varios metros de espesor.
	(d)	(d) Arena limosa (mal). Biogénico-carbonática, de colores claros. Forma cuerpos aislados en lagunas interiores de los cayos de la zona interior, principalmente.
	(e)	(e) Depósitos marinos (mQ2). Se encuentran en la costa sur de los cayos de la zona exterior, representados por camellones de tormentas, playas, barras y dunas. Las arenas que entran en su composición pueden ser gravosas, gruesas, medias y finas.
	(f)	(f) Construcciones coralinas. Arrecifes en la zona exterior de la plataforma y formas variadas en la zona interior.
	(g)	(g) Depósitos palustres (pQ2). Limos calcáreos, biogénicos y turbas, con bioclastos, de colores oscuros. Ocupan, fundamentalmente, la superficie de los cayos.
	(h)	(h) Turbas. Forman pequeños lentes a diferentes profundidades dentro de los sedimentos friables en la cercanía de la costa.
		Fm. Los Pinos. Biocalcarenitas ricas en algas <i>Halimeda</i> sp., similares a las de las playas actuales. Color crema. No aflora. Espesor ≈ 4 m. Se encuentran en los cayos Caguamas, Carabinero, Caballones, Algodón Grande y otros.
		Arcillas rojas innominadas. Compactas, de color carmelita a rojo-ladrillo. Carbonático-ferruginosas. Se ha localizado en la superficie de la Fm. Jaimanitas en la zona interior hasta la profundidad de 31.5 m. debajo del actual nivel de mar.
PLEISTOCENO SUPERIOR	TARDIO	Fm. Jaimanitas. Calizas biodetríticas, masivas, intemperizadas, muy carstificadas, fosilíferas. Coloración blancuzca, rosácea o amarillenta. Ocupa la parte exterior de la plataforma y el substrato del fondo marino y algunos cayos.
	TEMPRANO	
	?	

Fig. 7. Columna litoestratigráfica generalizada de la plataforma suroriental. Golfo de Ana María.

## Cayos

### Descripción de las formaciones

#### Jaimanitas, Formación (js)

En el caso de esta formación, que también aflora en el territorio emergido solo se agregan los aspectos particulares para esta parte de la plataforma, que son: distribución geográfica, litología, relaciones estratigráficas, conjunto faunístico, ambiente de sedimentación y espesor.

**Distribución geográfica.** Cubre de manera total o parcial la superficie de los cayos rocosos. Constituye el substrato de los sedimentos de los cayos donde no afloran rocas y del paleofondo marino, en el cual también aflora con frecuencia, sobre todo en la parte exterior de la plataforma.

**Litología.** Está representada por calizas biodetríticas masivas, fuertemente carstificadas, fosilíferas con conchas, corales y biohermas de especies que aun viven. La coloración es



blancuzca, rosácea, gris claro o amarillenta, con una costra evaporítica de espesor de unos 10 cm de color rojizo y blanco. La parte sur de los cayos de la zona exterior del archipiélago Jardines de la Reina (Grande, Caballones, Ancilitas, Piedra Grande, Piedra Chiquita y Cachiboca), se caracteriza por presentar una terraza, prácticamente, en todas sus costas a una altura de 0,5-1,0 m sobre el nivel medio del mar.

**Relaciones estratigráficas.** A los 25-50 m de distancia del mar su superficie carstificada aparece ocupada parcialmente por depósitos marinos en el borde de los cayos. Las arenas pueden aparecer desplazadas hacia los bajos fondos de las lagunas de los cayos cubiertos por mangles. Estas calizas deben conformar el substrato inmediato de los diferentes depósitos holocénicos aquí presentes, incluyendo los arrecifes de barreras y otras formaciones coralinas presentes en el golfo de Ana María; así como de la Formación los Pinos. Su techo es, en parte, erosivo.

En ocasiones está cubierta por arcillas muy compactas de color verdoso, carmelita a rojo ladrillo y rojizo-amarillento. Las mismas han sido localizadas en diferentes puntos del territorio y a distancia de hasta 30 km de la costa, con profundidades de hasta 31,5 m por debajo del nivel actual del mar. Según Avello y Pavlidis, (1986b), constituyen una corteza de intemperismo redepositada.

**Conjunto faunístico.** Se observa una abundante cantidad de fósiles: bivalvos, gastrópodos, equinodermos, pelecípodos, algas, corales en posición de vida, ostrácodos, *Strombus gigas* y numerosos foraminíferos.

**Ambiente de sedimentación.** Corresponde a facies arrecifal y de playa.

**Espesor.** El espesor visible es 1-3 m.

### Los Pinos, Formación (Ipi)

En el interior de los cayos de Doce Leguas (Caguamas, Carabinero, Caballones y otros) y de los Jardinillos (Algodón Grande, por ejemplo) se encuentran biocalcarenitas ricas en algas *Halimeda* sp., similares a las de las playas actuales. Semiconsolidadas, color crema y granos medios, sin afloramientos naturales y con unos 4 m de espesor. Son comparables a las de la Formación Los Pinos. Están cubiertas por depósitos marinos, con abundante vegetación o depósitos turbáceos.

### Depósitos holocénicos innominados

**Palustres (pQ<sub>2</sub>).** Están constituidos por limos calcáreos, biogénicos y turbas, con bioclastos, de colores oscuros. Su contorno está determinado por la vegetación de manglares, que se desarrolla en los cayos, en el nivel de pleamar; así como por bajíos, constituidos por arrecifes que murieron al quedar expuestos a condiciones subaereales por ascenso del territorio. En bajamar las raíces de los árboles se desplazan hacia el agua. Los mangles son una importante fuente de sedimentos biogénicos limosos y turbáceos, los cuales casi no se distinguen en cuanto a su área de desarrollo. De tal forma los depósitos palustres se pueden encontrar cubriendo la superficie de los arrecifes holocénicos muertos, de depósitos de arenas y la superficie carstificada de las calizas de la Formación Jaimanitas, por ejemplo, en cayo Boca Seca.

**Marinos (mQ<sub>2</sub>).** Se determinan en este territorio por el conjunto de depósitos de la costa sur de los cayos de la zona exterior, representados por camellones de tormentas, playas, barras y dunas. Son de composición calcárea (bioclastos con foraminíferos, moluscos, algas y otros restos orgánicos). Las arenas que entran en su composición pueden ser gravosas, gruesas, medias y finas, como regla, están bien clasificadas.



Según Iturralde-Vinent, (1981), la fauna de moluscos presente en estos depósitos se encuentra distribuida en tres regiones: la región con *Strombus gigas*, limitada al margen de la plataforma en las playas meridionales de los cayos Doce Leguas donde, además, el alga *Halimeda* es frecuente; la región de los cayos Jardines y Jardinillos, con un amplio conjunto donde el *Arca zebra*, la cual se vincula a la región de la costa meridional de Cuba y se caracteriza por la abundancia de *Strombus pupilis*. Es común y una tercera región donde predomina la *Melongena melongena*, que se ubica al este de cayo Pingues. Esta regionalización faunales reflejan las particularidades del medio físico-químico y las características del fondo marino.

En detalles, existen diferencias entre las características de las playas de los cayos en el territorio bajo consideración, pero por encima de estas hay una serie de regularidades que son: 1) la existencia de un montículo de arena gruesa o grava conchífera en la base del talud de la playa, otro donde muere la ola y un tercero en el nivel de marejadas, y 2) la presencia de una pequeña escarpa que alcanza hasta 1 m de alto, situada al nivel donde muere la ola durante la marea alta, la cual es permanente e indica el retroceso progresivo de la costa. Esta es una característica de las playas en este territorio y que las distingue, por ejemplo, de las de la plataforma septentrional, que son abrasivo-acumulativas y se vinculan a ensenadas y formas de destrucción de las costas.

En los cayos Ballenas, Las Cruces, Piedra Grande, Anclita y Grande, parte de las arenas de las playas están cubiertas por camellones de tormentas, formados por huracanitos y brechas de calizas. En general, las arenas sobreyacen la superficie de las calizas coralinas de la Formación Jaimanitas, calcarenitas de la Formación Los Pinos y turbas. En el grupo de cayos de la parte este de la zona exterior del golfo de Ana María (Carabinero, Rancho Alegre, Boca Seca, Campo Santo, Caguamas y Cabeza del Este), los depósitos arenosos forman barras, con una pendiente suave de 1-2°.

**Fondo marino.** En la zona interior del golfo de Ana María se encuentran limos arenosos (*mga*), que se extienden hasta el bajo costero, donde limitan con los limos arcillosos (*mgc*). Los limos arenosos no exceden 3,0 m como espesor máximo e incluso llegan a estar ausentes, exceptuando las partes próximas a la costa, las áreas circundantes a algunos cayos y las formas negativas del relieve cárstico. Esto está relacionado con la ausencia de importantes fuentes de aporte de sedimentos marinos y el débil acarreo fluvial de sedimentos terrígenos. En algunos segmentos costeros hay estrechos sectores arenosos, que en las partes emergidas pueden formar pequeñas playas; tales como las de punta Desempeño, entrada sur del estero Boca Chica, punta Remate, playa Florida, punta Juanita, Júcaro, punta Potrerillo y frente a los ríos Zaza y Manatí, entre otras, con sus correspondientes acumulaciones de arenas en el fondo marino, que no son cartografiables a esta escala. Un importante cuerpo de arenas (*pre*), biogénico-carbonáticas se encuentra al sur de la península de Ancón, que si se pudo cartografiar.

Tanto en los limos arenosos como en los arcillosos, habitualmente, se encuentran valvas de moluscos. Su coloración es gris-verdosa o gris azulado-clara donde se densifican los cayos de la parte noreste, pero a medida que se alejan de la costa se hacen más claros, lo cual se debe al aumento del contenido de carbonato de calcio y a la disminución de los componentes terrígenos. También se hacen más arenosos hacia al centro del golfo y en las aguas someras donde hay numerosos cayos que limitan con el golfo de Gaucanayabo, donde podemos encontrar concentraciones de arena prácticamente puras y con buen grado de selección.



La procedencia insular de una parte de los sedimentos del fondo marino se confirma mediante su composición revelada en análisis mineralógicos de Ionin *et al.*, (1977) y Bermustakov, *et al.*, (1981), a muestras de sedimentos de cayo Santa María de Tierra y punta La Ceiba, así como 116 muestras entre la ensenada de Boca Grande y punta Macurije analizadas por Alvarez, (1992). Se trata de cuarzo, ilmenita, epidota, leucoxeno, estauroлита, turmalina, piroxeno, anfíbol, zirconio, clorita, pirita, rutilo, biotita e hidróxidos de hierro.

El área situada frente a la desembocadura de los ríos Zaza y Manatí es típica deltáica. La zona litoral tiene una significativa y abrupta pendiente hasta una profundidad de alrededor de 10 m, donde bruscamente las arenas pasan a limos arenosos. En el caso del río Manatí unos y otros sedimentos sobreyacen sedimentos predominantemente arenosos de hasta 10 m de espesor presentes en el paleocauce, el cual alcanza profundidades de 65-70 m, con una terraza aluvial a los 35-40 m de profundidad.

Según los datos de vibroperforaciones y sismoacústica (Avello y Pavlidis, 1986b), el corte de los depósitos holocénicos, de forma generalizada, presenta la siguiente composición: lentes de turbas, facies complejas de limos, limos arenosos y arcillosos, con predominio de color verde-gris y claro, de origen terrígeno y marino, mezclados con conchas de moluscos, restos de vegetales, fragmentos de calizas intemperizadas hacia la base y en la cercanía de los cayos; así como restos de formaciones coralinas. Este complejo facial sobreyace la superficie intemperizada de las calizas de la Formación Jaimanitas o las arcillas compactas que las cubren.

Es probable que en las proximidades costeras los depósitos holocénicos yazcan sobre otros tipos de depósitos diferentes a los de la Formación Jaimanitas; así por ejemplo, según reporte de Iturralde-Vinent, (1981), la Formación Camacho ( limos, arcillas y otros componentes, del Pleistoceno Superior temprano), ha sido localizada en los embarcaderos del central Haití y Palo Alto y en una perforación cercana a la costa, 300 m al noreste de Júcaro. Aquí alcanza 3 m de espesor. Más abajo en el corte apareció la Formación Villaroja y la Formación Güines.

En el resto de la parte más hundida del golfo, la superficie meteorizada de las calizas se caracteriza por estar desintegrada en fragmentos y mezclada con arcillas carbonáticas, a veces enlodadas, de color gris claro, gris verdoso y gris carmelita. Según Ionin *et al.*, (1977), el enlodamiento se produjo cuando el territorio fue inundado por el mar durante la última transgresión (Flandriana) y ocurrió la penetración del agua en la intemperizada cubierta de las calizas.

En la zona interior del golfo de Guacanayabo superficialmente el fondo de esta parte de la plataforma está representado, mayormente, por limos arcillosos (*mlc*). Al suroeste y al noreste de cayos Manzanillo se encuentran dos cuerpos de arenas gruesas (*psa*), biogénico- carbonáticas. En algunos segmentos costeros hay estrechos sectores arenosos, que en las costas forman playas, tales como las de punta América, sur de Manzanillo, ensenada Moboa, playa Habanero, Guayabal, etc., que no son cartografiables a esta escala. Avello y Pavlidis, (1986b), cartografiaron un cuerpo arenoso a lo largo del límite interno de la zona exterior, sin embargo no la describen, por otra parte, no se presenta ninguna información en las cartas náuticas, que por el contrario atestiguan un amplio desarrollo de formaciones coralinas, las cuales, como es sabido, no se desarrollan en fondos arenosos, por lo que en este informe no ha sido considerado.



Los limos son plásticos al tacto y en general de color gris y verde gris. Próximo a Campechuela y cerca de los 10 m de profundidad el color es azulado-gris muy claro. Esta coloración presenta tonalidades más claras en los alrededores del Gran Banco de Buena Esperanza, donde aumentan los detritos arenoso-biogénicos, que pueden formar cuerpos pequeños arenosos, aislados. En los sedimentos se observan valvas sueltas de moluscos, que se hacen más abundantes en las partes periféricas de las formaciones coralinas y en los canales que las atraviesan. Estos depósitos provienen de silicatos y se extienden hasta donde alcanza la influencia del acarreo terrígeno, que es, fundamentalmente, el área interior de los arrecifes coralinos y los restantes provienen de carbonato de calcio biogénico. El papel de las formaciones coralinas en el aporte sedimentario es pobre, pues la débil dinámica de las aguas no contribuye a la formación de material detrítico.

El espesor de los limos es variable. Los máximos valores se localizan próximo a la desembocadura del río Cauto y las formaciones coralinas del lado norte del Gran Banco de Buena Esperanza, donde han sido registrados por perfiles sismoacústicos hasta con 20 m de espesor. En el resto del territorio los valores parecen estar por debajo de los 10 m. En el tramo del canal El Chinchorro, comprendido entre el banco de igual nombre y el extremo noroeste del Gran Banco de Buena Esperanza el espesor de los limos superficiales disminuye bruscamente, debido quizás a la acción de las corrientes, las cuales dejan al descubierto los sedimentos infrayacentes, que son arcillosos, muy compactos y de color verde oscuro y vienen a constituir lo que sería un segundo horizonte.

Las mencionadas arcillas conforman un horizonte localizado por vibroperforaciones, realizadas en las profundidades desde 20 hasta 30 m y, por lo visto, son sedimentos más antiguos, probablemente, provenientes de derrubio de una corteza de intemperismo, la cual fue descubierta por un perfil sismoacústico realizado entre punta Sevilla y el poblado de Guayabal, que consiste en arcillas compactas de color rojo carmelitoso y que descienden hasta la parte más profunda del golfo (constituyen el tercer horizonte). La fuente para su acumulación ha sido el acarreo de los ríos y se ha comprobado en las investigaciones de Ionin *et al.*, (1977) y Avello y Pavlidis, (1986b), que las mismas subyacen a las construcciones arrecifales del Gran Banco de Buena Esperanza, lo que demuestra la relativa juventud de dichas construcciones.

El segundo horizonte, en general, puede considerarse como redepositado en el período de mayor descenso del nivel del mar, que contribuyó a la erosión y redeposición del material que lo forma. La edad de sus depósitos fue determinada por el método de radiocarbono y la misma fluctúa entre 7 y 9 mil años, (Tab. 2), lo cual permite relacionar este horizonte con el tiempo boreal del Holoceno.

El tercer horizonte, compuesto por las arcillas rojas, es probable que se formara también en los límites del Pleistoceno y el Holoceno; mientras que el horizonte superior se comenzó a formar desde la fase Atlántica y continúa formándose en la actualidad. Esto se confirma por las determinaciones de radiocarbono realizadas en conchas, muestreadas en la base del corte (Tab. 2, muestra IOAC-499). El complejo de foraminíferos correspondiente a los sedimentos limo-arcillosos superficiales atestigua un progresivo aumento de la salinidad hasta alcanzar los niveles de la salinidad oceánica, sin embargo en los sedimentos que yacen inmediatamente debajo de éstos existió cierta dulcificación de las aguas, lo cual pudo estar relacionado con una disminución del proceso transgresivo e inclusive con la etapa regresiva. En una de las calas realizada en arcillas gris-verdosas





de la base de este corte fue descubierto un complejo de foraminíferos que corresponde, esencialmente, a condiciones de enfriamiento y dulcificación de las aguas, así lo indica, por ejemplo, la aparición de la especie *Elphidium günteri* de aguas frías y la desaparición de la especie *Elphidium poeyanum* de aguas calientes. Ionin *et al.*, (1977), relacionan su formación con el período sub-boreal del Holoceno.

Tab. 2. Determinaciones radiométricas en sedimentos del golfo de Guacanayabo (tomada de Ionin *et al.*, 1977).

Índice de la muestra	Material	Posición hipsométrica, en m	Edad, en años
UL-589	Conchas Cala 439	-32,5 Horizonte 3,25-3,55	7380 ± 150
IOAC-494	Conchas Cala 350	-23,0 Horizonte 3,07-3,23	9180 ± 380
IOAC-495	Corales	-23,0	7230 ± 370
IOAC-499	Conchas Cala 343	-20,5	7230 ± 370
IOAC 502	Conchas Cala 349	-24,8 Horizonte 2,5-2,7	7500 ± 310
UEM 551	Conchas	-24,8	7200 ± 150
IOAC-499	Conchas Cala 453	-29,6 Horizonte 1,80-2,20	5660 ± 580

En general, los sedimentos superficiales del fondo de la zona exterior de la plataforma suroriental, no son cartografiables a escala 1: 100 000 y corresponden a arenas de granos finos, medios y gruesos, gravas y limos carbonáticos de origen biogénico, compuestas de corales, algas, testas de foraminíferos y valvas, entre otros. En el caso de las que ocupan el banco de Levisa los restos de *Halimeda* desempeñan un papel significativo en su composición. Sus espesores son insignificantes, excepto en localidades pequeñas del relieve cárstico negativo donde pudieran alcanzar hasta los primeros metros. Donde no hay cubiertas locales de arenas o de formaciones coralinas afloran las calizas de la Formación Jaimanitas.

### Sector intraplatafórmico punta María Aguiar-punta Cazonés

El único lugar de acumulación significativa en este sector lo constituye la bahía cerrada de Cienfuegos, la cual se encuentra poco estudiada. En su interior predominan los limos terrígenos. En el canal de acceso los sedimentos son arenosos de origen marino.

### Plataforma suroccidental (fig. 8)

**Cayos.** Por la composición de los depósitos se pueden diferenciar dos grandes grupos de cayos en este sector de la plataforma: los que son totalmente palustres (pQ<sub>2</sub>) y los parcialmente palustres, que tienen una componente arenosa (mQ<sub>2</sub>), y/o rocosa. Los primeros se encuentran, mayormente, entre la parte norte de Isla de la Juventud y el sur de Batabanó y los demás en la zona exterior de la plataforma, en la parte occidental del



golfo de Batabanó (archipiélago de San Felipe) y el archipiélago los Canarreos (parte este-noreste del golfo Batabanó y hasta el golfo de Cazones).

Los cayos palustres están compuestos por limos y en menor cantidad por arenas y fragmentos más gruesos de detritos conchíferos. Los limos constituyen restos de mangles y de carbonatos de origen biogénico y quimogénico. La parte superior del corte es semilíquida y hacia el substrato es poco consolidado y con mayor cantidad de arenas. El espesor mínimo se encuentra en la cayería de la parte más oriental del golfo de Batabanó, donde se pueden encontrar afloramientos de calizas de la Formación Jaimanitas y el espesor máximo que puede ser hasta de 8 m se encuentra en los cayos que se extienden entre el norte de Isla de la Juventud y Batabanó. Los mismos constituyen formas acumulativas holocénicas ( $pQ_2$ ), originadas por el arrastre de los sedimentos del fondo por las corrientes. Hacia la parte central del golfo de Batabanó las corrientes del este y del oeste convergen y se anulan o amortiguan sus velocidades y por consiguiente la transportación de sedimentos, por lo que han originado una alineación de cayos perpendiculares a la línea de costa, es decir, surgieron a partir de barras marinas y la acumulación biogénica de mangles y *Thalassia*, por lo que constituyen morfoesculturas hidrogénico-biogénicas del relieve. Las perforaciones realizadas durante las investigaciones del Viaducto Habana-Isla de la Juventud, (1970), no reportan cortezas de intemperismo redepositadas en estos cayos, por lo que su origen no pudo ser a partir de tales tipos de depósitos, como supusieron Avello y Pavlidis, (1986a). El subyacente lo constituyen depósitos de la Formación Jaimanitas y probablemente en algunos casos hacia al este de la Isla de la Juventud de la Formación Cocodrilo. No se han observado sedimentos en los cayos de origen fluvial, como señala Núñez-Jiménez, (1982), los cuales tampoco son propios de ningún otro sector de la plataforma mariana.

Los cayos parcialmente palustres se localizan en dos partes: al este de la Isla de la Juventud y en el archipiélago San Felipe, al oeste. En los de la parte este predominan las calizas de la Formación Jaimanitas, que están compuestas por calizas biogénicas de corales, algas, foraminíferos bentónicos (*Archais angulatus* y *A. Compresas*) y fragmentos de moluscos diversos. Tienen un espesor visible de 2 a 7 m. Según reporte de Pokrinshkii, (1966), suelen contener, en partes, entre 0,38 y hasta 3,54-6,95 % de fosforita de tipo insular ( $P_2O_5$ ). En algunos cayos, como Cantiles y Campos aparece una terraza baja compuesta de fragmentos coralino-conchíferos, que probablemente no corresponda a la terraza cero, sino que sea más joven. Ionin y sus colaboradores, (1977), determinaron en tres muestras por medio del C14 la edad de un nivel de terraza similar a la de estos cayos, en cuanto a composición y posición hipsométrica, en punta Guano, Isla de la Juventud y obtuvieron valores entre  $2240 \pm 90$  y  $1980 \pm 120$  años. Sin embargo, la escala a la que se realizan estos trabajos no permite segregar estos depósitos de los más antiguos. También se encuentran calcarenitas oolíticas con una dimensión de 0,1 hasta 1,0 mm, cementadas por calcita, con estratificación oblicua, típica de barras marinas y con un espesor de 10 a 25 m. Pueden considerarse similares a las calcarenitas oolíticas de la Formación Cocodrilo del Pleistoceno Superior tardío ( $Q_{1ccl}$ ). Esta unidad ha sido redescrita recientemente en el vecino territorio emergido de la Isla de la Juventud (Peñalver *et al.*, 2003), por lo que se ha omitido su caracterización en este trabajo.

En algunos de estos cayos se encuentran sectores abrasionados, lo cual denota que los procesos de formación de oolitas y formación de estructuras coralinas en la actualidad sufren cierto debilitamiento. En la superficie, principalmente, de las calizas, son abundantes los huecos cársticos, con una dimensión desde algunos centímetros hasta de 5 a 20 m en la galería transversal y una profundidad, generalmente, de no más de 0,5 m.



Menos frecuentemente se encuentran pequeñas cavernas con una profundidad hasta de 1 a 1,5 m. Las cavidades cársticas están rellenas de sedimentos eluviales arenosos, friables o débilmente compactados y suelos. Según reporte de ( Pokrinshkii, 1966) estos depósitos pueden contener, en partes, entre el 0,59 y 16,97% de fosforita del mismo origen que las que se encuentran en las calizas. En las zonas más bajas, los cayos se cubren por depósitos limoso-arcillosos, biogénicos, carbonáticos con restos de vegetales. También se forman playas de arenas oolíticas en sus costas meridionales ( $mQ_2$ ).

EDAD	DEPOSITOS	DESCRIPCION DE LOS DEPOSITOS Y CARACTERISTICAS DE SU DISTRIBUCION
HOLOCENO		<p>(a) Limos. Limos sin clasificar (<i>plm</i>), limos arenosos (<i>mia</i>), limo fino (<i>pmf</i>), limos arcillosos (<i>mlc</i>) y limo grueso (<i>pmg</i>). Carbonáticos, quimo-biogénicos, con restos de mangles y bioclastos. Predominan los arenosos y arcillosos. Colores claros a oscuros, alcanzan los primeros metros de espesor. Se encuentran en la zona interior de la plataforma.</p> <p>(b) Arenas. Arenas sin clasificar (<i>pre</i>), arena media (<i>pre</i>), arena fina (<i>prf</i>) y arenas gravosas (<i>mag</i>). Quimo-biogénicas, carbonáticas. Predominan las quimogénicas (oolíticas). Color gris claro a crema, alcanzan los primeros metros de espesor. Son propias de la zona interior.</p> <p>(c) Gravos. Media (<i>prm</i>) y fina (<i>prf</i>). Biogénico- carbonáticas, de color blanco grisáceo, alcanzan los primeros metros de espesor y forman pequeños parches en la zona interior.</p> <p>(d) Depósitos palustres (<i>pQ2</i>). Formados por limos y en menor cantidad por arenas y fragmentos más gruesos de detritos conchíferos. Colores oscuros. Alcanzan hasta 8 m de espesor. Forman abundantes cayos, principalmente, en la zona interior.</p> <p>(e) Depósitos marinos (<i>mQ2</i>). Playas de arenas oolíticas en las costas meridionales de algunos cayos de la parte este de la Isla de la Juventud. En su parte suroeste constituyen arenas biogénicas y de cuarzo. Color crema de poco espesor.</p> <p>(f) Turbas. Constituyen horizontes intercalados de decenas de centímetro de espesor en los sedimentos friables hasta la profundidad de 16 m, en los alrededores de las tierras emergidas.</p> <p>(g) Construcciones coralinas. Arrecifes en la zona exterior de la plataforma.</p>
PLEISTOCENO SUPERIOR		Fm. Cocodrilo. Calcareenitas oolíticas, cementadas por calcita, con estratificación oblicua típica de barras marinas y un espesor total de 10 - 15 m.
PLEISTOCENO TEMPRANO		Fm. Jaimanitas. Calizas biohémicas coralino-algáceas, biodetríticas, intemperizadas. Blanco cremas, grisáceas. Espesor hasta 20 m. Se encuentran por todo el territorio de la plataforma que ha estado fuera del acarreo fluvial.
PLEISTOCENO MEDIO		Fm. Guevara. Arcillas plásticas, arenas y gravas cuarcíferas finas, abigarradas. Espesor 3 y más de 20 m. Se encuentran en las proximidades costeras del sur de Pinar del Río y suroeste-noreste de Isla de la Juventud, donde incluyen clastos y bloques de calizas de la Fm. Vedado.
PLEISTOCENO INFERIOR		
PLIOCENO SUPERIOR PLEISTOCENO INFERIOR		<p>Fm. Guane. Gravos, arenas y arcillas arenosas. Color abigarrado. Espesor de 3 a 20 m. se encuentra en las proximidades costeras del suroeste de la Isla de la Juventud.</p> <p>Fm. Vedado. Calizas coralino-algáceas, recristalizadas y carstificadas, con fragmentos de cuarzo en el sur-suroeste de Isla de La Juventud. Color crema a gris, a veces rosado con manchas negras. Espesor &gt; 20 m. Se extienden por casi toda la plataforma.</p>
JURACICO CRETACICO		Corteza de intemperismo derivado de rocas jurásicas y cretácicas del macizo metamórfico de la Isla de la Juventud. Hasta 20 m de espesor. Próximo a las costas suroeste de la Isla.
OLIGOCENO SUPERIOR- MIOCENO SUPERIOR		Fm. Paso real. Calizas y margas. Color crema a blanco grisáceo. Espesor > 30 m.

Fig. 8. Columna litoestratigráfica generalizada de la plataforma suroccidental



En el archipiélago de San Felipe hay arenas de *Halimeda* y valvas de moluscos ( $mQ_2$ ), por ejemplo, en los cayos Los Indios y del Perro; así como arenisca fina, de cuarzo, con inclusiones de valvas de moluscos, en los cayos Sijú y Real. La edad de estas areniscas no fue establecida por los investigadores que las estudiaron (Avello y Pavlidis, 1986a), pero se puede suponer que las mismas se formaron durante el Optimo Climático postglacial, cuando aún existía aquí abundante material terrígeno, transportado fluvialmente desde la llanura sur de Pinar del Río, en el período de la transgresión Flandriana, o sea, que serían holocénicas ( $mQ_2$ ). Según datos de Pokrinshkii, (1966), en algunos cayos, como Real y del Perro, afloran calizas biogénicas, que deben corresponder a la Formación Jaimanitas.

**Fondo marino.** Los depósitos superficiales friables holocénicos de este territorio de la plataforma son complejos por su variada granulometría y composición. Ello se debe a las especificidades de los factores y procesos de sedimentación bajo las cuales se han desarrollado.

Los depósitos terrígenos abundan solamente en las cercanías de las costas y en las diferentes cuencas de acumulación, excepto en la del este del golfo de Batabanó, que son de origen quimogénico. En la ensenada de la Broa hay una gran semejanza entre la composición química de los limos arcillosos de la zona litoral y los limos con fauna de moluscos de color gris claro, de los que se compone su fondo (Ionin *et al.*, (1969), ello se debe al aporte de las corrientes fluviales, fundamentalmente, de partículas en suspensión y pequeñas cantidades de sustancia orgánica.

En general, el papel predominante en la formación de los sedimentos le corresponde a los procesos quimogénicos, biogénicos y fluviales. Estos últimos son de importancia en las proximidades costeras de la Isla de la Juventud y el contenido mineralógico que lo caracteriza, aparece reportado por: Vasiliev y Pavlidis, (1975) e Ionin *et al.*, (1977), Alvarez, (1989), Rodríguez *et al.*, 1984 y Cabrera *et al.*, (1990), entre otros). En la subfracción pesada de los limos gruesos y finos de alrededor de la Isla de la Juventud existen hasta 35 tipos de minerales, tales como: andalucita, actinolita, circón, disteno, epidota, espinela cromífera, estauroлита, granate, granos limonitizados, granos cloritizados, hidróxido de hierro, hornblenda, ilmenita, leucoseno, marcasita, piroxenos, pirita, rutilo, tremolita y turmalina, pirrotina, corindón, esfena, cuarzo, etc. En el bajo costero, en general, hay presencia de minerales autógenos, fundamentalmente, los del grupo de la pirita-marcasita y el hidróxido de hierro.

Estos depósitos se caracterizan por la mala selección granulométrica, por su enlodamiento en la parte cercana a la superficie y su mezcla con depósitos biogénicos. Solo en escasos lugares se encuentran formando barras de arenas cuarcíferas casi puras, como en partes de la ensenada de la Siguanea (entre punta Buenavista y punta de los Barcos) y sur de Pinar del Río. También hay concentraciones de otros minerales provenientes del macizo metamórfico de la Isla de la Juventud, como es el caso de las arenas negras en áreas contiguas a playa Bibijagua. En los alrededores de esta isla los depósitos son de color rojizo, amarillento, blanco y abigarrado. Próximo a la Isla de Cuba predomina el color gris oscuro.

Los depósitos terrígenos van pasando a biogénicos a medida que aumenta la distancia de la línea de costa, formando cuerpos locales de limos y arcillas y sus combinaciones. Es frecuente que se encuentren enlodados y con fragmentos de conchas y algas, llegando a formar pequeños cuerpos de arenas. Su color varía desde gris oscuro hasta blanco



crema, en dependencia del contenido de restos vegetales o de carbonato de calcio. Los sedimentos biogénicos puros son propios de la zona exterior de la parte oeste y centro-noroeste de la plataforma, hacia su parte este los depósitos son quimogénicos.

Los depósitos quimogénicos forman un extenso campo de arenas oolíticas finas blanco-cremosas. Por su extensión este constituye el cuarto polígono en el mundo de formación de este tipo de depósito (Ionin *et al.*, 1977). Tales oolitas son propias también del banco de las Bahamas, en el mar Rojo y en la costa este del mar Caspio.

Estos depósitos tienen una distribución horizontal bien definida, la cual se asemeja a una lengua dirigida hacia al interior del golfo y está relacionada con la dirección de la masa de agua que penetra del mar Caribe. Con el alejamiento del borde de la zona exterior de la plataforma, la cantidad de granos de oolitas disminuye. Las más puras (70 %) se observan, por ejemplo, a través de los cayos Avalos, Cantiles, Rosario y Largo. Detrás de éstos (hacia a la parte interior del golfo), comienzan a predominar los granos de pseudoolitas (ovoides) y agregados, con apreciable cantidad de componentes biogénicos.

Hacia las partes central y submeridional de la zona interior, se extiende una faja de arenas fuertemente enlodadas y lodos arenosos, con una cantidad considerable de valvas de moluscos y fragmentos de algas. Tal estado físico se debe al alto contenido de partículas menores de 0,005 mm (40-45 %). Esta faja bordea la cayería situada al noreste de la Isla de la Juventud y se prolonga hacia al norte, coincidiendo con la zona de menores espesores de sedimentos de la zona interior de la plataforma. Hacia al oeste de esta faja se observa una zona cubierta por limos blancos carbonáticos, con valvas de moluscos. A medida que se acerca a las costas de Cuba se van transformando en limos arenosos.

La distribución vertical de los sedimentos en la plataforma suroccidental tiene una relación directa con la morfología del paleofondo, ocupando los mayores espesores en las cuencas, donde pueden alcanzar hasta 40-50 m en sus partes cercanas a las costas con mayor influencia del acarreo fluvial. En el resto del territorio el espesor de los sedimentos no supera los 2-4 m, incluso pueden estar ausentes o ser despreciables en grandes áreas, en las que afloran calizas de la Formación Jaimanitas y no se puede excluir la posibilidad de que algunos afloramientos pudieran ser hasta de la Formación Vedado.

El subyacente de los depósitos friables superficiales es variado y complejo. Alrededor de la Isla de la Juventud se localizan las mismas rocas preholocénicas que afloran en su territorio emergido y que pueden estar cubriendo una gruesa corteza de intemperismo. También pueden estar compuestas por gravas, arenas y arcillas arenosas. Los clastos son angulosos y semiangulosos, de composición cuarcífera. Color abigarrado, con predominio del amarillento. Su espesor varía entre 3 y más de 20 m. Son comparables con los depósitos de la Formación Guane.

Fuera de la zona de influencia del acarreo terrígeno los depósitos superficiales sobreyacen rocas carbonáticas de la Formación Jaimanitas, que están compuestas por calizas biohémicas coralino-algáceas y biodetríticas, duras y muy intemperizadas en su superficie, a tal extremo que con frecuencia sus fragmentos han pasado a formar parte de los sedimentos friables. También contienen corales en buen estado de conservación y moldes de moluscos. Su matriz es micrítica o micrítico-arenítica. Color blanco-crema y grisáceo. En la parte exterior de la plataforma el espesor puede superar los 20 m, mientras que en la zona interior se encuentra por debajo de los 10 m.





En la superficie carstificada a veces aparecen arcillas compactas duras de color rojo ladrillo, de composición ferruginoso-carbonatada, que son comparables con las localizadas en otras partes del territorio del archipiélago cubano y por lo visto, constituyen una concentración del contenido arcilloso y ferruginoso de las calizas mediante su descalcificación, similar a los suelos residuales autóctonos (*terra rossa*). La hipótesis de tal similitud se fundamenta en los resultados obtenidos en investigaciones precedentes, realizadas en el occidente de la Isla de Cuba; así como en que las mismas son características para diferentes sectores emergidos del territorio de Cuba y su plataforma marina, donde se encuentra la formación Jaimanitas y a veces Vedado. En todos los casos tienen invariablemente las mismas características, en cuanto a composición, distribución y morfología.

Respecto a estos depósitos Franco, (1973), observó lo siguiente: “la formación de suelos residuales autóctonos que Bennett y Allison, (1928), denominan “piedra hueca”, es concebible como un producto final de la alteración de calizas, que primariamente han sido enriquecidas con materiales argilito-ferruginosos”.

Ionin y sus colaboradores, (1977), al describirlas en esta región de la plataforma las consideraron como: “depósitos, formados en la depresión del relieve original de las calizas como resultado de la acumulación de productos eluviales de una corteza roja tipo *terra rossa*, frecuente en la superficie calcárea”. Estos autores suponen que debido a la subida del nivel del mar durante la última transgresión el manto acuífero ascendió, ocupando los embudos cársticos, mientras que las formas positivas del relieve cárstico, que quedaron por encima del manto freático fueron desprovistas mediante la erosión por las aguas de lluvia de los depósitos ferríticos deleznales y acumulados en las partes bajas.

En opinión de los mencionados autores la formación de este tipo de depósitos es característica para una determinada etapa del desarrollo de las plataformas marinas tropicales, sin embargo su distribución es muy limitada, lo cual se debe a: 1)- ellos no pueden acumularse en cada uno de los embudos cársticos, 2)- el área de los embudos es muy limitada, y 3) - tales lodos tan finos pueden acumularse en una faja costera relativamente estrecha, solamente mediante una ingresión lenta del mar a la tierra, pues mediante una ingresión rápida las condiciones de acumulación de estos depósitos desaparecen.

A juzgar por la posición hipsométrica que ocupan estos depósitos en los territorios emergidos, que en ocasiones es superior a los 5 m y teniendo en cuenta que el nivel máximo del mar alcanzado durante el Optimo Climático de la última transgresión no debió ser mayor de 3-5 m, entonces estos depósitos pudieran no ser holocénicos como suponen Ionin *et al.*, (1977). Por otra parte, es obvio que son post-Jaimanitas (post-Sangamon). Es probable, entonces, que su tiempo de formación esté relacionado con alguno de los ciclos transgresivos del Pleistoceno Superior tardío, durante los cuales se acumularon los depósitos de las formaciones La Cabaña, Cocodrilo, Salado y Guillermo.

Las calizas de la Formación Jaimanitas en la zona exterior y gran parte de la zona interior suprayacen calizas coralino-algáceas, recristalizadas, carstificadas. Color gris crema a veces rosado, con manchas negruscas, que corresponden a la Formación Vedado. Alcanzan un espesor de más de 20 m. Es probable que en extensiones considerables, como en la ensenada de la Broa, el subyacente de los sedimentos friables corresponda a





esta formación. También pudieran yacer sobre los limos arcillosos, grises, compactos, que afloran en la costa norte de la ensenada de la Broa.

En las proximidades de la Isla de la Juventud y al sur de Pinar del Río los depósitos superficiales pueden encontrarse yaciendo, además, sobre arcillas plásticas (montmorilloníticas y montmorillonito-caolínicas), arenas y gravas cuarcíferas finas, que a veces forman lentes. También se tienen concreciones y pigmentos de óxido de hierro. Ocasionalmente, las arcillas contienen una fracción limosa; así como oolitas y pseudoolitas ferruginosas. No se observa fauna. Su coloración es variable, abigarrada. Abundan, a veces, alrededor de la Isla de la Juventud, dentro de las arcillas hay fragmentos y bloques de calizas similares a las de la Formación Vedado. Estos depósitos en su conjunto son comparables con los de la Formación Guevara. Se observa que los mismos yacen tanto sobre la corteza de intemperismo, como sobre la Formación Guane. Su espesor varía entre 3 y más de 20 m. Avello y Pavlidis, (1986), consideraron como corteza de intemperismo a depósitos de arcillas, que suelen yacer sobre calizas miocénicas y depósitos deltáicos antiguos, los cuales no describen y que es probable se estén refiriendo a depósitos de esta formación y de la Formación Guane. Donde parece ser que es más acertado el planteamiento de estos investigadores es en la corteza delgada de color rojo, que ellos describen sobre calizas miocénicas entre punta Carraguo y la ensenada de la Broa.

En la zona sur-oeste y próximo al territorio emergido de la Isla de la Juventud existen por debajo de los depósitos superficiales depósitos similares a los que han sido descritos en tierras emergidas como Formación Siguanea, pero en los testigos de perforación no es posible diferenciarlas de las arenas cuarcíferas actuales, por lo que se decidió no considerarlas en este caso. Es probable que existan también cerca de la costa en la porción noroeste del golfo.

Las arenas oolíticas sobreyacen un horizonte de limos carbonáticos finos con impurezas de arena gruesa, representada por fragmentos de moluscos y foraminíferos. El espesor de éstas puede ser algo mayor de los 2 m, a la vez que su parte inferior se encuentra saturada de moluscos. Constituyen una masa plástica y homogénea de color blanco. La brusca diferencia física existente entre la masa de arenas y los limos que la subyacen indica un cambio rápido, ocurrido en el régimen de sedimentación. De esta forma los depósitos de las actuales arenas oolíticas ocupan una posición bien definida, tanto vertical, como horizontal, lo cual demuestra, en primer lugar, que para su formación se necesitan condiciones determinadas, y en segundo, que este proceso es muy joven.

### **Sector intraplatafórmico cabo Francés- cabo San Antonio**

En un pequeño sector del bajo costero de su parte este se encuentran limos arenosos, con una componente orgánica significativa, aportada por el manglar, que es la causa de su coloración oscuro-grisácea. Son de poco espesor y a veces entre los mismos se observan afloramientos de la superficie intemperizada de las calizas coralinas de la Formación Jaimanitas. Estos depósitos son una continuación de depósitos similares a los que se encuentran en el vecino golfo de Batabanó. Existen, además, otros pequeños depósitos arenosos biogénico-carbonáticos en este sector, pero que no son cartografiables a la escala de este trabajo. La superficie del resto del territorio, al igual que los demás sectores intraplatafórmicos, corresponde a calizas de la Formación Jaimanitas y escasas formaciones coralinas.



## HISTORIA DEL DESARROLLO GEOLOGICO DURANTE EL CUATERNARIO

La formación de la plataforma marina y el resto de los mares someros del archipiélago cubano, al igual que todas las plataformas actuales, está estrechamente vinculada con los cambios glacioeustáticos del océano mundial durante el Cuaternario y los movimientos neotectónicos. En el Atlántico estas oscilaciones estuvieron acompañadas de significativos cambios de las características oceanológicas de la masa de agua, que llevó consigo una extraordinaria transformación no solamente del relieve de la plataforma marina, sino también de los procesos fundamentales de la sedimentación ocurridos en ellas.

La ausencia o restringida distribución de muchos de los depósitos del Pleistoceno Inferior y Medio en el territorio de la plataforma marina de Cuba no permite reconstruir los ciclos regresivos y transgresivos para este tiempo, como se ha hecho tentativamente por Kartashov y sus colaboradores, (1981), para el territorio emergido de Cuba e Isla de la Juventud (regresión Vedado/Guevara y transgresión Guevara, regresión Guevara/Villarroja y transgresión Villarroja, regresión Villarroja/Jaimanitas. Solo se han identificado depósitos correspondientes al Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior (formaciones Vedado, Guane y Alegrías), formados durante la transgresión Vedado. También a partir del interglacial Sangamon en el Pleistoceno Superior temprano se registran huellas de transgresiones y regresiones del mar, las cuales se confirman por la presencia de los depósitos de las formaciones Jaimanitas y Cayo Romano ( correspondientes a la transgresión Jaimanitas o interglacial Sangamon) y por la superficie fuertemente intemperizada de la Formación Jaimanitas ( por efecto de la regresión durante el interglacial Wisconsin). Las huellas de los pequeños ciclos transgresivos ocurridos durante la gran regresión del Wisconsin están representadas por los depósitos de las formaciones Cocodrilo, La Cabaña y Guillermo. No se han encontrado depósitos de la formación Salado, correspondientes a uno de estos ciclos y que están presentes en el territorio emergido. No hay dudas de que los mismos eventos regresivo-transgresivos que afectaron al actual territorio emergido del archipiélago cubano afectaron también a su actual territorio marino. Sus huellas no se han observado debido, probablemente, a la destrucción por la abrasión durante las transgresiones y a la erosión durante las regresiones. También pudo haber influido la elevación del terreno a partir del Pleistoceno Medio en la plataforma norcentral, específicamente.

Durante la transgresión Vedado el mar superó significativamente los límites actuales y en lo que es el territorio marino de hoy predominó un ambiente de sedimentación carbonático, de fondo plano y poco desmembrado, con características similares a las de su zona exterior actual, es decir, con las condiciones ecológicas mínimas necesarias que garantizan la supervivencia y desarrollo de los corales.

En general, la reconstrucción paleogeográfica de esta etapa permite llegar a la conclusión de que la transgresión Vedado tenía dimensiones comparables con las de las transgresiones oligo-miocénicas. Cuba nuevamente fue dividida en unas cuantas islas, aunque a juzgar por el material de la facies terrígena y por la presencia de gravas y cascajos de rocas magmáticas y metamórficas en las calizas coralinas, formadas directamente en las costas compuestas por estas rocas, el medio de acumulación de los sedimentos en las costas, en algunos casos, se diferenció por el alto nivel energético, mientras que en otros se distinguió por la existencia de una barrera en la zona costera, probablemente de mangles, que no permitió el acarreo de material terrígeno hacia el mar abierto y profundo.



Sobre la base de una serie de factores, Kartashov *et al.*, (1981), consideraron que las tendencias al ascenso del archipiélago cubano a finales de la fase mioceno-pliocénica, relacionadas con la evolución de los movimientos tectónicos conllevó al aislamiento del territorio a través de fallas y flexuras, las cuales formaron el límite exterior del fondo de sus mares someros; así como una posterior disminución a finales del Pleistoceno Superior de los movimientos diferenciados dentro de sus límites, con la incorporación de sus bloques tectónicos.

Dunaev e Ionin, (1975), teniendo en cuenta que el ritmo de desarrollo de las elevaciones tectónicas jóvenes alcanza en diferentes regiones de Cuba 0,5 mm por año y que el mismo no cambió hasta finales del Pleistoceno Superior, consideraron que durante el Sangamon Cuba en su totalidad se encontraba hipsométricamente más baja que en la actualidad. La diferenciación de los movimientos tectónicos y la velocidad de ascenso de los diferentes bloques condujo a un cambio hipsométrico variado de la posición de la línea costera del mar sangamoniano en un período de 100 000-130 000 años AP. Para estos autores la transgresión del Sangamon condujo a la inundación de significativos territorios de Cuba e Isla de la Juventud. Según Ionin *et al.*, (1977), el mar del Sangamon inundó las llanuras costeras de Cuba casi hasta los macizos montañosos y premontañosos y penetró profundamente en las depresiones erosivo-tectónicas.

Durante el Sangamon los depósitos carbonáticos fueron difundidos en la plataforma cubana en una amplitud mayor a la actual. El clima y las características oceanológicas de la masa de agua, fueron acogedores para la actividad formadora de arrecifes coralinos; para el desarrollo de una biocenosis de fondo característica para las zonas de aguas someras de los mares tropicales. No hubo acumulación de sedimentos químicos de carbonato de calcio (oolitas), como afirmaran Ionin y sus colaboradores, (1977), pues tales depósitos corresponden a las formaciones Cocodrilo y Guillermo del Pleistoceno Superior tardío.

Posterior al profuso desarrollo de los depósitos carbonáticos en el territorio de los mares someros de Cuba y parte de su territorio emergido durante el interglacial del Sangamon, ocurrió la glaciación del Wisconsin (10 000 hasta 75 000 años AP), la cual fue caracterizada para la cuenca del Caribe por Emiliani, (1960, 1970), basándose en el método de análisis de paleotemperaturas. El estableció que en la cuenca del mar Caribe en las épocas frías del Pleistoceno, particularmente en el Wisconsin, la temperatura de la capa superficial de agua varió en un promedio de 7 a 10 °C, aunque en la parte ecuatorial del océano Pacífico fue de 3-4°C. Según Barash, (1974), el límite de los hielos flotantes en el Wisconsin tardío se aproximó en el Atlántico casi hasta el trópico norte; como resultado de lo cual todas las fronteras zonales se desplazaron hacia el sur y los procesos de formación de arrecifes coralinos se interrumpieron. Por eso la evolución de las plataformas insulares de la zona tropical del Atlántico en el Pleistoceno fue muy heterogénea. Esto se reflejó muy significativamente en el carácter del relieve y la sedimentación (Ionin *et al.*, 1977).

La regresión wisconsiniana no tuvo un carácter continuo, sino que dentro de la misma ocurrieron ciclos transgresivos y regresivos. Tal supuesto parte de la presencia de depósitos, que yacen discordantemente sobre la superficie intemperizada de la Formación Jaimanitas, identificados como formaciones Cocodrilo, Guillermo, Salado y La Cabaña. Parece ser que ocurrieron por lo menos dos pequeñas transgresiones, con sus respectivas regresiones, pero el nivel de conocimiento que se tiene de estos depósitos y



en particular de su edad no permite afirmarlo definitivamente. Lo que sí se puede afirmar es que en cualquier caso los cambios del medio paleogeográfico no fueron muy grandes durante tales intervalos, sobre todo por la restringida distribución de estas unidades litoestratigráficas.

La ubicación hipsométrica en el territorio emergido de depósitos sincrónicos con los aquí mencionados, por ejemplo, formaciones Salado y La Cabaña, los cuales se ubican en zonas deprimidas del terreno y próximo a las costas actuales, indican que durante los ciclos intrawisconsinos el nivel del mar fue significativamente menor que el de Jaimanitas y también acusan a la ausencia de movimientos tectónicos verticales significativos.

De acuerdo con los datos de Ionin *et al.*, (1977), en la plataforma marina de Cuba y en varios lugares de sus costas, se tienen depósitos y formas del relieve relacionados con procesos transgresivos del océano mundial durante el Wisconsin Medio. Tales son, antes todo, los depósitos carbonáticos que se localizan en la parte exterior del golfo de Guacanayabo, limitando con el bloque Levisa. Estos depósitos, que tienen una edad de más de 25 000 años, atestiguan un régimen de sedimentación marina en la cuenca. A su vez, en la parte interior del golfo se depositaron sedimentos terrígenos, por ejemplo, arcillas, que contienen un complejo de foraminíferos que se corresponden con condiciones de agua salobre y relativamente frías, en comparación con la época actual. La elevación del bloque Levisa en tiempos del Wisconsin Medio, evidentemente no interrumpió la entrada de las aguas oceánicas a la depresión de Guacanayabo, ya que partes separadas del bloque pudieron lavarse más lentamente que las demás y a consecuencia de esto se inundaron ante un relativamente alto nivel del mar al final del posible ciclo transgresivo. Por lo visto, algunas de las bahías de bolsa en tiempos del interestadial del Wisconsin Medio, también representaron un amplio acuífero, ya que la cota mínima absoluta del fondo en los límites de la depresión y los profundos canales de acceso no impidieron la inundación. Testigo de ello es la presencia de depósitos de la Formación La Cabaña en el poblado de Casablanca, Ciudad de La Habana (área tipo de esta formación).

En opinión de estos mismos autores, en la depresión de Ana María durante el Wisconsin Medio es probable que existiera un acuífero casi cerrado, separado del mar por el bloque Jardines de la Reina. Sin embargo, los sedimentos que se pueden más o menos relacionar con este intervalo no se han podido localizar hasta ahora. Tal vez ellos fueron redepositados o quizás lavados, en el siguiente intervalo, particularmente, durante la etapa de desarrollo subaéreo en ese sector de la plataforma. Es probable que los restos de los depósitos lacustres correspondientes a ese tiempo se relacionen con limos arcillosos, que ocupan la depresión cárstica del centro del golfo. El golfo de Batabanó es posible que se inundara parcialmente durante el Wisconsin Medio. Aquí, bajo la protección de una guirnalda de cayos y barras, compuestos por material oolítico, se pudieron depositar secuencias de granos finos (lodos carbonáticos limo-arcillosos, los cuales yacen en la actualidad bajo una capa de arenas oolíticas recientes).

De esta manera, en el Wisconsin Medio la plataforma marina de Cuba, durante algún tiempo, consistió en una serie de lagunas relativamente grandes, en cierta medida aisladas del mar abierto por una cadena de islas, barras y bloques elevados en el borde exterior de la plataforma. El transporte de material desde la tierra se realizaba tanto hacia las lagunas cerradas, como hacia los sectores profundos fuera de los límites de la plataforma, de manera análoga a como ocurre en la actualidad, por ejemplo en la costa sur de la Sierra Maestra.



Se ha establecido que durante la regresión del Wisconsin el océano mundial alcanzó su mínimo nivel. Guilcher, (1954), consideró que las cotas hasta donde descendió el nivel del mar en el tiempo de la glaciación Wisconsin fueron de más de 100 m. Otros autores, como Kaplin, (1973), consideró que el descenso fue de 113 m con respecto a la actualidad. En comparación con la anterior regresión, al parecer, la del Wisconsin descendió hasta mayor profundidad. Por otra parte, en el Wisconsin tardío, hace aproximadamente 17 000 años se han estimado descensos de hasta 120 m por debajo del nivel actual para el Atlántico occidental (Shepard, 1960).

Para el relieve del talud insular de Cuba, Ionin *et al.*, (1977) han considerado que la línea costera del Wisconsin tardío (parte final del Pleistoceno Superior), se encuentra en la cota de los 60-65 m debajo del nivel actual del mar, y que durante casi todo el Wisconsin en la superficie de la plataforma desecada de Cuba se sucedieron procesos intensos de modelación del relieve (cársticos, erosivos, denudativos, eólicos, etc.). Ellos reportaron embudos cársticos a las profundidades de 70-80 m en los límites de la plataforma suroccidental

Estos propios autores opinan que el golfo de Ana María en el Wisconsin tardío fue desecado en su casi totalidad. Solamente en las partes más profundas de las depresiones La Vela, Caballones y Mosquitos, pudieron mantenerse las desembocaduras de los ríos como lagos. La corriente de estos lagos es posible que pasara embudos cársticos a 70-80 m de profundidad a través del Bloque Jardines de la Reina directamente al mar Caribe. Aquí no se observan cortes erosivos. Por consiguiente los cauces de los ríos debieron tener desembocaduras colgantes. Esto significa que el nivel del mar se encontraba en el período de la regresión, significativamente más bajo que el nivel del mar actual en los estrechos entre los cayos del archipiélago Jardines de la Reina.

Para el Wisconsin tardío, existe una considerable cantidad de información en los últimos años. El último pico de esta glaciación, reconocido entre 17 000 y 18 000 años AP, al extinguirse los hielos provocó una transgresión, que algunos autores denominan Flandres, aunque comúnmente se nombra transgresión Flandriana al pico máximo que se produjo 6 000 años atrás. Con esta época se relacionan cambios característicos en la sedimentación marina en el Atlántico ecuatorial y en el Golfo de México, sobre la base de testigos de perforaciones profundas, los que indican un significativo calentamiento ocurrido hace 11 000-12 000 años. En este sentido, Ericson y Wollins, (1968), suponen un aumento de la temperatura de las aguas oceánicas de 7 a 8°C como promedio. Por otra parte, algunos autores estiman que la transgresión eustática provocada con el deshielo, alcanzó 9-10 m en 1 000 años.

Ionin *et al.*, (1977), consideran que en esta etapa preholocénica de la transgresión, el relieve subaéreo y los sedimentos no llegaron a transformarse debido al rápido calentamiento de la tierra y las formas acumulativas que se originaron fueron resultado, como regla, de la acción del oleaje y, por consiguiente, se conservaron bajo los depósitos marinos.

### **Transgresión holocénica**

El carácter de la actual línea costera del archipiélago cubano confirma que la última variación del nivel del mar fue su elevación. Existen formas típicamente ingresivas en el relieve de las costas, como lo son los estuarios y las bahías de bolsa, que abundan en las





costas del archipiélago y, a veces, en aquellas regiones que a juzgar por la presencia de la terraza holocénica, hace poco experimentaron una elevación. Los estuarios desaparecen solamente en las desembocaduras de algunos de los principales ríos que transportan una gran cantidad de material friable (Manatí, Zaza, Cauto, etc.). La acumulación de este material no compensó la inundación de la zona del mar por la parte que ocupan las desembocaduras de los ríos, al no ser suficiente la cantidad de material friable ingresado en estas bahías desde la tierra. Se encuentran bahías con costas ingresivas, cuyos contornos prácticamente no se han transformado por la acumulación de material friable y bahías con costas acumulativas bajas, surgidas como resultado del parcial rellenamiento de embudos cársticos a 70-80 m de profundidad por el material friable. Los manglares juegan un importante papel en la formación de las costas acumulativas, tanto en las bahías de bolsa, como en otras zonas de la costa. Un resultado directo de la transgresión holocénica lo constituye el surgimiento de los contornos actuales de la línea costera, es decir, el límite interior del territorio marino del archipiélago cubano.

Como ya se hizo referencia, los movimientos tectónicos del Holoceno están reflejados en la constitución de las costas de Cuba. La única región que pudiera presentar subsidencias se relaciona con la costa sur de las provincias de Pinar del Río y La Habana. Las costas bajas que carecen de sedimentos marinos holocénicos (excluyendo los sedimentos de los pantanos de mangles de las costas), pero que están constituidos por sedimentos de la Formación Jaimanitas o por sedimentos terrígenos de las formaciones Camacho y Siguanea, pueden considerarse tectónicamente estables o que se elevan a una pequeña altura solamente en la primera mitad del Holoceno, cuando la velocidad de ascenso del nivel del mar fue grande. Las costas de este tipo están desarrolladas en la costa norte de Pinar del Río, desde Guanahacabibes hasta Bahía Honda, en la costa sur en el área de la península de Zapata, en la costa suroeste de Isla de la Juventud y sur de Pinar del Río. En Cuba centro oriental se distinguen en cayos de la parte este del archipiélago Sabana-Camagüey. Los diferentes bloques que componen la plataforma marina parecen ser tectónicamente estables, excepto la plataforma suroriental que presenta una subsidencia muy activa, la cual se refleja en el desarrollo de los corales.

En la plataforma marina de Cuba y sus costas, según Ionin *et al.*, (1975), las huellas de la transgresión holocénica están registradas con bastante claridad, tanto en las capas de los depósitos, como en las formas características del relieve. Cuando al principio del Holoceno el nivel del océano mundial se encontraba a 20-25 m por debajo del actual, comenzó la última inundación de la plataforma marina de Cuba. Evidentemente, en esta época, posiblemente debido a su carácter intermitente no homogéneo, en algunos sectores del borde exterior de la plataforma marina, fueron formadas las superficies abrasivas de la tercera y cuarta terrazas, ubicadas a las profundidades de 25-26 m y 18-20 m.

Según estos últimos autores, la lenta inundación de las aguas de la región del Caribe a principios del Holoceno, condujo al regreso a la plataforma marina de Cuba, de los corales formadores de arrecifes. Como substrato para su asentamiento sirvieron las diferentes formas del relieve relíctico subaéreo y tectónico de la superficie plana litoral, que fue cubierta rápidamente por el mar (Ionin *et al.*, 1977).

En Cuba suroccidental fueron inundadas las cuencas de Siguanea, San Felipe y Batabanó. En las dos primeras comenzó la acumulación, fundamentalmente, de arenas limosas y sedimentos orgánicos y en la última lodos carbonáticos. Precisamente, en el





tiempo de inundación del golfo de Batabanó, en él se crearon condiciones para la formación de pequeños cayos y barras intralagunares, las cuales se cubrieron con vegetación de manglar. La muerte de estos últimos condujo a la formación de capas de turbas, descubiertas en muchos lugares dentro y en la base de los depósitos carbonáticos y terrígenos. Con el desarrollo posterior de la transgresión, algunos de estos cayos fueron completamente inundados y se convirtieron en bancos subacuáticos. Ionin *et al.*, (1977), estiman que 6 000-7 000 años atrás la velocidad de ascenso del nivel del mar no pudo ser significativamente mayor que la velocidad de acumulación de turbas, ya que en el caso contrario los pantanos de turbas habrían sido inundados y la formación de éstas hubiese cesado. Este intervalo corresponde al denominado “período de estabilidad relativa del nivel del mar”. La época siguiente se caracterizó por una elevación relativamente rápida, la cual alcanzó cerca de 5 m por encima del nivel actual hace alrededor de 5 000 años. Posteriormente, el ritmo de su ascenso disminuyó significativamente, lo que se refleja en la amplia difusión de facies de pantanos de mangle en los depósitos de la plataforma marina cubana, entre las cotas de 3-5 m debajo del nivel actual del mar.

En el golfo de Guacanayabo, durante el Holoceno, se depositaron lodos arcillosos compactos que se deben relacionar con el tiempo preboreal, ya que tienen una capa que lo recubre, que se ha datado en  $9\,180 \pm 300$  años. La época entre 7 000-9 000 años AP se caracterizó, por lo visto por una significativa lentitud de la transgresión y posiblemente, hasta por una etapa regresiva, cuyas evidencias se reflejan por horizontes erosionados en los depósitos y por la composición de los foraminíferos que responde a condiciones de agua dulce y a un descenso de la cuenca hídrica (Ionin *et al.*, 1977). En la escala mundial, este evento frío se ha datado en 8 000 años A P.

En la bahía de Puerto Padre se han estimado velocidades de sedimentación de 0,5 mm/año para los cienos orgánicos. La edad de su capa superior, situada a 11,0 m de profundidad total fue de  $5\,980 \pm 140$  años y la de la parte inferior situada a 12,0 m fue de  $6\,500 \pm 150$  años (Ionin *et al.*, 1977).

De esta manera, se puede concluir, señalando que la cuestión relacionada con el momento en el cual el nivel del mar alcanzó su posición actual, sigue siendo un tanto polémica y aún no resuelta.

A modo de resumen, Ionin *et al.*, (1977) elaboran una curva eustática, en la cual distinguen dos oscilaciones fundamentales (fases transgresivas y regresivas); la primera con un pico en el intervalo de 8 000-9 000 años AP y la correspondiente disminución relativa del nivel del mar hasta las cotas de 12-14 m, hasta un período de 6 000-7 500 años atrás y la segunda, con un pico por encima del nivel actual del mar y que se corresponde con el período post-Atlántico (cerca de 4 000 años AP). La posición de las muestras de turbas y lodos orgánicos, datados por  $C^{14}$  atestiguan el aumento continuo del nivel del océano, en el intervalo entre estas oscilaciones. Sin embargo, la velocidad de la transgresión no fue homogénea, alcanzando en sus momentos de más rápido ascenso hasta 6-7 mm/año. Cerca de 5 000 años AP en algunos lugares de la plataforma cubana se formaron turbas en los pantanos de mangles en la cota de -5, -6 m.

Debe significarse que los datos obtenidos en otras plataformas del mundo, concuerdan con estos resultados. Así, Dieter, (1975 *fide* Ionin *et al.*, 1977), señala que el nivel del mar Mediterráneo alcanzó el actual, y es posible que lo superara un tanto (no más de 1 m) 4 500-5 000 años AP. Como consecuencia ocurrió un lento aumento hasta la actualidad.



Igual coincidencia se tiene con los datos para el Atlántico occidental, en específico con el sur de la Florida donde Shepard, (1960); Segota, (1968) y Curray, (1960) (*fide* Ionin *et al.*, 1977), confeccionaron curvas semejantes con sus materiales. Otros autores en la plataforma mexicano-caribeña, también llegaron a las mismas conclusiones (Newell *et al.*, 1975 y Land *et al.*, 1967 *fide* Ionin *et al.*, 1977) y supusieron que el cambio en sus etapas de desarrollo en el Cuaternario tardío ocurrió igual que en Cuba e indican los siguientes acontecimientos generales:

-Período subacuático de formación de las plataformas insulares de aguas someras, con significativa inundación de las zonas costeras en el tiempo de la gran estabilización del nivel del océano mundial en el interglacial Sangamon.

-Período de desarrollo subaéreo de la plataforma en tiempos de la glaciación Wisconsin, con amplia manifestación de los procesos de denudación y erosión de la superficie, y también de la cementación de los depósitos que la cubrían, a lo que siguió una lenta inundación de la plataforma en el primer estadio del Holoceno y su paso siguiente a la transgresión eustática del océano, posterior a la glaciación que tuvo un carácter heterogéneo y facilitó la formación del complejo de formas del relieve y la acumulación de depósitos marinos neríticos.

-La formación de las costas de las islas en el Holoceno tardío ocurrió mediante el ingreso de cantidades considerables de material biogénico fragmentario, que fue arrastrado a ellas tras la destrucción de los arrecifes coralinos en la fase regresiva, la cual se inició después del máximo de la regresión, luego de la cual, cerca de 4 000 años atrás, comenzó la elevación del nivel actual del océano.

## RECURSOS MINERALES DEL FONDO MARINO

Los recursos minerales que hasta hoy se conocen en los depósitos cuaternarios del fondo marino están constituidos por arenas y lodos. Las arenas son carbonáticas y forman, en parte, depósitos que en su momento se evaluaron como depósitos industriales de materia prima para la construcción y se pueden localizar hasta en los sectores sin plataforma. Los recursos inferidos en el tramo comprendido entre Santa Lucía, en Pinar del Río y Santa Fe, en La Habana ascienden a 15 708 684 m<sup>3</sup> en 11 bloques aislados, mientras que los recursos especulativos ascienden a 16 482 235 m<sup>3</sup>, según datos de Estrada *et al.*, 1989. En el sector comprendido entre Río Seco y Gibara, provincia de Holguín, los recursos inferidos en cuatro sectores estudiados son de 2035747 m<sup>3</sup>, según datos de Nápoles *et al.*, (1990). Las arenas marinas constituyen un recurso valioso para la construcción de playas, como es el caso de Guardalavaca, al norte de la provincia de Holguín o para la regeneración de éstas, siendo el caso más importante el de playa Varadero, donde se han vertido millones de m<sup>3</sup>. También constituyen materia prima los lodos carbonáticos, que en la bahía de Moa son explotados hace más de cuatro decenios para la industria niquelífera y aún cuentan con recursos significativos.

El contenido de minerales pesados (estauroлита, cianita, ilmenita, turmalina, circón, rutilo, leucóxeno, magnetita, anfíboles y epidota, entre otros), en general, es muy bajo, no superando las decenas de g/t en las mayores concentraciones. Los menores contenidos se relacionan con los minerales útiles, inclusive algunos, como el oro no han sido reportado.



La ausencia o escasez de minerales pesados y en general de depósitos terrígenos en la plataforma marina se pudiera explicar de la siguiente manera:

La regresión máxima en el territorio de la plataforma marina actual, o sea el nivel más bajo del mar, se produjo hace unos 20 mil años AP, a finales del Wisconsin. Para entonces el mismo quedó a gran profundidad por debajo del actual, quedando su superficie expuesta a una fuerte meteorización, erosión y otros procesos subsecuentes subaereales, por lo que fueron desintegrados casi todos los sedimentos correspondientes a las transgresiones parciales intrawisconsiniana (formaciones Salado y La Cabaña), inclusive pudiese ser que ocurriera lo mismo con los depósitos más antiguos y que sea esa la causa del hiato existente entre el Pleistoceno Inferior y el Pleistoceno Superior (intervalo entre la Formación Vedado o sus equivalentes y la Formación Jaimanitas). Esto es una cuestión no descifrada aún.

Específicamente, durante el Holoceno la limitada presencia de depósitos terrígenos y por ende de minerales pesados en cantidades industriales ha estado relacionada con los siguientes factores: desfavorable composición petrográfica de las rocas en las fuentes de aporte; intensa meteorización en las cuencas colectoras situadas en las tierras emergidas; amplia productividad de los organismos calcio-productores; formación química de carbonato de calcio en la plataforma marina; desarrollo de barreras coralinas en la zona exterior y otras formaciones importantes en la zona interior; presencia de cayos en ambas zonas litomorfo-genéticas de la plataforma marina; desarrollo profuso de manglares en las costas; abundancia de lagunas, marismas y pantanos en la zona costera; pobre escurrimiento fluvial y la presencia de una barrera geoquímica en la zona costera originada por la unión de las aguas dulce y salada.

El caso de la ausencia del oro está relacionado con los yacimientos que le pudieran servir de fuente de aporte a los placeres, tanto fluviales como marinos, ya que los mismos están constituidos por granos muy finos (fracciones microscópicas), lo que es típico para los yacimientos asociados a *skarn* (en arsenopirita y antimonita), como es el caso del yacimiento Delita, en Isla de la Juventud. Tampoco son favorables, en tal sentido, las formaciones minerales oro-sulfurosas, como ocurre con el oro diseminado en los sulfuros en la zona aurífera situada en las cercanías de la ciudad de Holguín, donde los granos de oro son predominantemente finos ( $< 0,5$  mm).

Desde hace decenas de años se utilizan en nuestro territorio, por ejemplo al norte del golfo de Batabanó, los lodos minero- medicinales (peloides) para las curaciones de la piel. Se han realizado estudios por parte del Ministerio de la Industria Básica y por el Instituto de Oceanología encaminados a determinar sus propiedades y los recursos existentes. Los resultados apuntan a gran potencialidad de Cuba en todos los lugares con costas acumulativas. A los usuarios (Poder Popular, Turismo y Ministerio de Salud Pública) le resulta beneficioso precisar esta potencialidad casuísticamente, pues su costo se abarata por menor transportación y mejor y mayor uso.

En los reportes de Golyer, (1915); Auer y Macualey, (1948) y otros informes, que se conservan en la ONRM se puede constatar la presencia en la bahía de Cárdenas de antiguas menas de asfalto de excelente calidad, las cuales fueron explotadas y aprovechadas en épocas anteriores y que actualmente pudieran estudiarse para su redescubrimiento y extracción, si es que aún hay. En estos reportes se habla de la extracción de más de 20 000 toneladas antes de 1895 y la presencia de tres depósitos: próximo a cayo Diana, al oeste de Cárdenas y noroeste de cayo Cupey, además de



manifestaciones en los cayos Cruz del Padre, Galindo, Rancho y General Bustillo; así como en la desembocadura del río La Palma, en bahía de Santa Clara.

## CONCLUSIONES

- La mayor parte del aporte de sedimentos hacia la zona interior es a través de corrientes marinas, que transportan materiales de la zona exterior; así como la biota del fondo, dando lugar a formas acumulativas, tales como barras, bancos, cayos, etc. Este proceso se hace más evidente en los lugares donde convergen las corrientes a su arribo desde diferentes direcciones, originándose acumulaciones alineadas casi perpendicular a la línea de costa de tierra firme, como es el caso de la cayería del norte de los golfos de Batabanó, Ana María y Guacanayabo. Las formaciones coralinas intralagunares no hacen aportes significativos de sedimentos. Lo que sí son frecuentes son los depósitos de arenas de *Halimeda*, las cuales cubren grandes porciones del fondo. En la parte este del golfo de Batabanó hay considerables acumulaciones de arenas oolíticas (quimogénicos).
- En la zona exterior predominan los fondos desprovistos de sedimentos, los cuales son parte de la superficie de la plataforma arrecifal y afloramientos de la Formación Jaimanitas. Las acumulaciones de arenas biogénicas se localizan en canales, surcos, bancos, barras y en las costas de los cayos, donde llegan a formar importantes playas. En la parte este del golfo de Batabanó, al igual que en la zona interior, hay considerables acumulaciones de arenas oolíticas.
- El aporte de sedimentos terrígenos a la zona interior de la plataforma marina es pobre, mientras que hacia su zona exterior es nulo.
- Los sectores sin plataforma están prácticamente desprovistos de sedimentos en la parte de mar abierto. Poseen considerables acumulaciones en las bahías y ensenadas.
- La granulometría de los sedimentos, es muy variable, predominando la fina ( arcillas y limos) y más subordinadamente la gruesa (arenas y gravas). En muchos sectores forman barras y otras formas acumulativas del relieve.
- El espesor de los sedimentos es muy variable, pudiendo ser desde centimétrico hasta varias decenas de metros en las formas negativas del relieve.
- La formación de la plataforma marina y el resto de los mares someros del archipiélago cubano, al igual que todas las plataformas actuales, está estrechamente vinculada con los cambios glacioeustáticos del océano mundial durante el Cuaternario y los movimientos neotectónicos. Estas oscilaciones estuvieron acompañadas de significativos cambios en la masa de agua, que llevó consigo una extraordinaria transformación no solamente del relieve de la plataforma marina, sino también de los procesos fundamentales de la sedimentación ocurridos en ella.
- La ausencia o restringida distribución de muchos de los depósitos del Pleistoceno Inferior y Medio en el territorio de la plataforma marina de Cuba no permite reconstruir los ciclos regresivos y transgresivos para este tiempo. Solo es posible hacerlo de manera aproximada para parte del Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior y de forma más completa para el Pleistoceno Superior-Holoceno.



- El contenido mineralógico de los sedimentos friables tiene su origen en dos fuentes de aporte: el territorio emergido de las islas de Cuba y de la Juventud (minerales aloctígenos) y la formación de nuevos minerales en el seno de los sedimentos aquí depositados (minerales autógenos). En la zona exterior el ambiente de sedimentación es carbonático, mientras que en la zona interior es predominantemente carbonático hacia mar abierto y carbonático-terrágeno en la zona costera. En general, el contenido de minerales pesados es muy bajo, no superando las decenas de g/t en las mayores concentraciones. Estos contenidos son mucho más bajos en los minerales útiles, inclusive algunos, como el oro no han sido reportado. Las arenas marinas y los lodos carbonáticos forman, en ocasiones, depósitos industriales
- La ausencia o escasez de minerales pesados y en general de depósitos terrígenos en la plataforma marina están relacionadas con el efecto destructivo de los eventos transgresivos y regresivos ocurridos durante todo el Cuaternario, con la escasa transportación fluvial de sedimentos y las características genéticas de algunos yacimientos que le habrían podido servir como fuente de aporte.
- La concepción empleada en el mapa y su texto explicativo permite su actualización; así como un más amplio uso, significando no solo un aporte a las geociencias del país, sino también un patrón de referencia para el estudio de otras áreas del mundo, en particular de las tropicales.

## BIBLIOGRAFIA

- Alvarez. M, (1989). Algunas particularidades sobre la composición mineralógica del golfo de Batabanó. Rep. Invest. No 3. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. La Habana, 22 p.
- , (1992). Algunas consideraciones acerca de la composición mineralógicas en una franja costera del golfo de Ana María, Cuba. Invest. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. Rep. Invest. No 14. La Habana, 14 p.
- Alvarez. M & M. C. Quintana, (1988). Caracterización sedimentológica preliminar de la bahía de Cárdenas. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. Rep. Invest. No 3. La Habana, 16 p.
- & Ramírez. E, (1988). Estudio de los restos esqueléticos en las playas del E de la Ciudad de La Habana. Invest. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. Rep. Invest. No 10. La Habana, 20 p.
- Anteproyecto de Decreto-Ley. Gestión de la Zona Costera de Cuba, (versión de 1998).
- Atlas Nacional de Cuba, (1970). Acad. Cienc. URSS. Moscú.
- Auer. W. F & R. J. Macualay. (1948). Filtración de depósitos de asfalto en la bahía de Cárdenas. Arch. ONR.
- Avello. O, A. S. Ionin & V. S. Medvedev, (1975 b). Geomorfología e historia del desarrollo de la península de Hicacos (Cuba). En: Plataformas insulares de la zona tropical de los océanos. Edic. 1. Invest. Oceanol. Acad. Cienc. URSS. Moscú, 21-39 p.
- , Y. A. Pavlidis & N. N. Dunaev, ( 1975 a). Particularidades de la constitución de la plataforma marina según los datos del perfilaje sismoacústico. Edit. Inst. Ocean. Acad. Cienc. URSS. Moscú, 23 p.
- Avello, O & Y. A. Pavlidis, (1986 a). Sedimentos de la plataforma cubana. III. Golfo de Batabanó. Rep. Invest. No 6. Inst. Geol. Paleont. Acad. Cienc. Cuba. La Habana, 42 p.
- , (1986 b). Sedimentos de la plataforma cubana. II. Golfos de Ana María y Guacanayabo. Rep. Invest. No 7. Inst. Geol. Paleont. Acad. Cienc. Cuba. La Habana, 27 p.





- Barash. M. C. (1974). Migración de los cinturones climáticos del Océano Atlántico en el Pleistoceno Superior. Acad. Cienc. URSS. Tomo 216, No. 5. Moscú, 265 p.
- Baudy, O. I. (1964). Facies de foraminíferos en los sedimentos del golfo de Batabanó y su significado geológico. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologist. E. U. V. 48, No 10.
- Bokun. V. V, A. F. Brublevskaya & M. V. Margotieva, (1963). Informe sobre los trabajos de la brigada marina "Vladimir Obruchev" en la zona de la costa nordeste la Isla de Cuba. ONRM. La Habana.
- Butticaz. P, (1952). Descripción geológica y topográfica de la península de Zapata y áreas colindantes. Arch. ONRM. La Habana.
- Corral del. J. I, (1912). Excursión geológica al placer de Batabanó. Rev. Soc. Ing. V-13, No 1. La Habana, 32-42 p.
- Cabrera. M, (1997). Geología de la plataforma marina insular. En: Estudios sobre Geología de Cuba. La Habana, 179-197 p.
- , J. Oro, R. Reyes, J. L. Alvarez, G. L. Franco, R. Rodríguez & L. L. Peñalver, (1990). Sistematización y generalización de la geología de la plataforma marina de Cuba con relación a la prospección de minerales sólidos. Arch. Inst. Geol. Paleont. La Habana.
- , L. Peñalver, C. M. Pérez, C. Ugalde, A. Barriento, R. Guerra, M. E. Chávez, E. Nápoles, J. de Huelbes, Bouza. O, L. Rivas, A. Magaz, Sosa. M, Zúñiga & L. Orbera, (1997). Estudio geólogo-ambiental del ecosistema Sabana-Camaguey. Arch. Inst. Geol. Paleont. La Habana.
- Castellanos. E, K. Núñez, D. Carrillo, G. Pantaleón & J. Triff, (2003). Diseño del Sistema de Información Geológica de Cuba (SIGEOL). CNDIG, Inst. Geol. Paleont. ISBN: 959-7117-13-4. La Habana, 800 p.
- Derrau. M, (1965). Geomorfología. Edit. Ariel. Barcelona. España, 434 p.
- Derrotero de las Costas de Cuba, (1989). Inst. Cub. Hidrografía. T. I y II. Edit. Científico-Técnica. La Habana, 378 p.
- Dunaev. N. N, (1982). Plataforma marina-¿Una región geoestructural particular o un extremo de los continentes cubiertos por las aguas? En: Problemas de la historia cuaternaria de la plataforma marina. Edit. Nauka. Moscú, 51-57 p.
- & A. S. Ionin, (1975). Estructura geológica de la plataforma marina de Cuba y sus movimientos verticales contemporáneos. En: Plataformas insulares de la zona tropical del Océano. Edit. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. URSS. Moscú, 22-41 p.
- Emiliani. C, (1960). Paleotemperature Analysis of the Caribbean Cores. A 254 BR. Cand CP. 28. Bull Geol. Soc. Amer. Vol. 75,EU, 129-144 p.
- , (1970). Pleistocene paleotemperature. Science, V. 168.EU, 822-825 p.
- ENIA, (1969). Informes de los estudios ingeniero-geológicos para el canal envolvente Sigüanea-Gerona. Isla de la Juventud. Arch. Inst. Geol. Paleont. La Habana.
- , (1962).Informe sobre las investigaciones ingeniero-geológica en la bahía de Cajimaya. Arch. Unidad de Holguín.
- , (1970).Informe de los estudios ingeniero-geológicos para el viaducto Cuba-Isla de la Juventud. Arch. Inst. Geol. Paleont. La Habana.
- , (1972).Informe para el esquema ingeniero-geológico de punta Saetía. Unidad de Holguín.
- , (1979). Informe de la toma de agua de la Termoeléctrica. Planta Siderúrgica situada en la bahía de Cajimaya. Unidad de Holguín.
- ,(1979, 1987). Informes de los estudio ingeniero-geológicos para el atracadero de combustible, Nueva Gerona. Isla de la Juventud. Arch. Inst. Geol. Palent. La Habana.
- , (1981).Informe sobre Muelle de Atraque I y II de Felton. Unidad de Holguín.
- , (1985 ).Informe sobre refuerzo costero en la Termoeléctrica de Felton. Unidad de Holguín.





- , (1988). Informe sobre plataforma en la bahía de Nipe. Arch. Unidad de Holguín.
- , (1988). Informe sobre el dragado de la bahía de Guatemala. Arch. Unidad de Holguín.
- , (1988). Informe sobre la ampliación del puerto de Antilla. Arch. Unidad de Holguín. Inv. 2-04- 27C.
- Ericson, D. B & G. Wollins, (1968). Pleistocene climates and Chronology in Deep-sea Sediments. Science 162. 1227-1234 p.
- Estrada, V, R. Rodríguez, M. Cabrera, R. Corrada, V. Ramos, M. Sánchez, A. Rodríguez & A. Oviedo, (1987). Informe de los trabajos de reconocimiento geológico-evaluativo preliminar en el *shelf* oriental de Cuba y la franja costera adyacente. Arch. Inst. Geol. Paleont. La Habana.
- , R. Corrada, V. Ramos, A. Oviedo, C. Ayra y M. Sánchez, (1989). Informe sobre la prospección de arenas marinas para la construcción en el tramo costero Santa Fe-bahía de Santa Lucía (plataforma noroccidental). Escala 1: 50 000. Arch. Inst. Geol. Paleont. La Habana.
- Franco, G. L, (1973). Discusión Somera sobre las "Rocas Rojas" de Cuba occidental. Serie Espeleol. Carsol. No 4. La Habana, 1-7 p.
- Foyo, J, (1982). Distribución de los sedimentos arenosos en la plataforma norte de la península de Hicacos. Rep. Invest. No 2. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. La Habana, 23 p.
- & E. Ramírez, (1988). Morfología submarina del área Tarará-Rincón de Guanabo. Rep. Invest. No 11. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. La Habana, 16 p.
- Geneshin. G. S, I. I. Krasnov, Y. F. Chemekov & S. V. Epshtein, (1972). Manual metodológico para las investigaciones geomorfológicas. Edit. Niedra. Leningrado, 383 p.
- Gil, A, (1988). Características de los sedimentos en dos bahías al S de los cayos Coco y Romano. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. Rep. Invest. No. 18. La Habana, 36 p.
- Guilcher, A, (1954). Morfología litoral y submarina. Edit. Omega. S . A. España, 261 p.
- Golyer. R de, ( 1915). Manifestaciones de petróleo y asfalto en la provincia de Matanzas. Arch. ONRM.
- González. D, R. Rodríguez, J. Pol & R. Torres, (1981). Informe sobre las Investigaciones complejas geólogo-geofísicas marinas en el extremo occidental del archipiélago Sabana-Camaguey y península de Hicacos para establecer el balance de sedimentos. Arch. ONRM. La Habana.
- González. N, I. Torres & L. Lera, ( 1985). Niveles de contaminación por metales pesados en sedimentos de la bahía de La Habana, Cuba. Mem. Simp. Cien. Mar y VII Jorn. Inst. Oceanol. La Habana, 239-243 p.
- , A. Rodríguez, C. Hernández, V. Ramos & R. Corrada, (1985). Trabajos de geología marina regionales de apoyo al *shelf* occidental de la República de Cuba para minerales sólidos. Arch. ONRM. La Habana.
- Gorshkov. G & A. Yakushova, (1977). Geología general. 2da edición. Edit. Mir. Moscú, 564 p.
- Gvozdeskii. Y, (1973). Sobre el carso tropical de Cuba. Bol. MOIP. Depart. Geol. No2. T 48. Moscú, 184 p.
- Hernández. C, V. Ramos, R. Corrada & J. L. Alvarez, (1985). Informe sobre los trabajos regionales de apoyo a la geología marina suroccidental de la República de Cuba para minerales sólidos. Arch. ONRM. La Habana.
- , M. Sánchez & R. Rodríguez, (1988). Informe sobre los trabajos de levantamiento geológico y búsqueda de minerales sólidos de la Isla de la Juventud. Arch. ONRM.



- Ignatov. E. I, (1973). Formación de las estructuras de la plataforma marina insular del mar tropical. En el ejemplo del golfo de Batabanó. En: Materiales de la filial moscovita de la Soc. Geogr. URSS. Moscú.
- , (1975). Relieve del fondo del golfo de Batabanó en el mar Caribe. En: Investigaciones de la Naturaleza del Océano. Univ. Est. de Moscú. Moscú, 17-32 p.
- Informe geólogo-geomorfológico de cayo Jutías y su entorno marino por el grupo Proambiente (INMAR), ENIA, (1996).
- Ionin. A. S, (1967). Relieve de la zona costera de la Isla de Cuba. Rev. Oceanol. No 2. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. URSS. Moscú, 28-42 p.
- , (1981). Rol de los procesos quimogénicos en la formación del relieve marino – litoral de los trópicos. En: Plataformas marinas continentales e insulares. Edit. Naúka. Moscú, 216- 229 p.
- & O. Avello, (1975). Sedimentos de la plataforma cubana. I. Golfo de Guanahacabibes. Rev. Oceanol. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. No 30. La Habana, 23 p.
- , P. A. Kaplin & V.S. Medvedev, (1961). Clasificación de los tipos de costas del planeta terrestre ( propuesta para el Atlas Geográfico Mundial). En: "Trabajos de la Comisión Oceanográfica". T. 12. Moscú, 122 p.
- & Y. Pavlidis, (1967). Condiciones de formación del relieve y sedimentos de la zona costera de la Isla de Pinos. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. Rev. Serie Isla de Pinos. La Habana, 20 p.
- , & Y. A. Pavlidis, (1975). Relieve de las costas y sedimentos del fondo de la costa norte de Cuba en la región de los archipiélagos Sabana y Camagüey. En: Nuevas investigaciones de los procesos costeros. Edit. Naúka. Moscú, 33-68 p.
- , B. C. Medvedev & Y. A. Pavlidis, (1975). Terrazas submarinas del *shelf* de Cuba. Revista Estructura del *shelf* zonas tropicales del océano. Moscú. 53-125 p.
- , Y. A. Pavlidis & O. Avello, (1969). Sobre la estructura geológica y geomorfológica de la zona costera y sedimentos de la ensenada de la Broa. Acad. Cienc. Cuba. Ser. Trans. Natur. No 8. La Habana, 21 p.
- , (1972a). Relieve de la zona costera y sedimentos del fondo de la costa norte de Cuba en la región del archipiélago Sabana-Camaguey. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. Serie Oceanol. No 12. La Habana, 25 p.
- , (1972b). Depósitos del golfo de Batabanó. En: Procesos de desarrollo y métodos de investigación en la zona somera del mar. Edit. Naúka. Moscú, 62-92 p.
- & O. Avello, (1977). Geología del *shelf* de Cuba. Acad. Cienc. URSS. Edit. Naúka. Moscú, 277 P.
- Iturralde-Vinent. M, (1981). Depósitos Cuaternarios. En: Bermustakov, E. E. Dimitrova. M. Ganey, I. Haydoutov, V. Kostadinov, E. Kojunjeva, E. Koshujarova, N. Popov, V. Shopov, P. Tcholskov, D. Tchounev, T. Tzankov, R. Cabrera, C. Díaz & F. Roque. Texto explicativo al mapa geológico a escala 1:250 000 de las provincias de Camagüey y Ciego de Avila. Arch. Inst. Geol. y Paleont. T-I. La Habana.
- Juanes. J. L, (1977). Informe sobre los estudio de los sedimentos en bahía de Cienfuegos. Arch. Inst. Oceanol. La Habana.
- Kaplin. P. A, (1973). Historia de la orilla costera moderna del Océano Mundial. Edit. Univ. Moscú, 89 p.
- Kartashov. I. P, N. Mayo, A. G. Cherniajovskii & L. L. Peñalver, (1976). Descripción de algunas formaciones geológicas del Sistema Cuaternario de Cuba, reconocidas recientemente. Acad. Cienc. Cuba. La Habana, Ser. Geol. No 26. La Habana, 1-6 p.
- , A. G. Cherniajovskii & L. L. Peñalver, (1981). El Cuaternario de Cuba. Edit. Naúka. Vol. 356. Moscú, 145 p.



- Leontiev. O. K, (1955). Geomorfología de las costas y el fondo marino. Edit. Univer. Moscú, 377.
- , (1963). Curso abreviado de geología marina. Edit. Univer. Moscú, 446 p.
- , Nikiforov & Safianov, (1975). Geomorfología de las costas marinas. Edit. Univer. Moscú, 335 p.
- & Gershanovich, (1975). Plataforma marina, algunas cuestiones terminológicas, geomorfología e historia de su desarrollo geológico. En: Problema de la geología de la plataforma. Edit. Naúka. Moscú, 28-43 p.
- Linares, E & colectivo de autores, (1985). Mapa geológico de la República de Cuba a escala 1:500 000. Cent. Invest. Geol. MINBAS. La Habana.
- Magaz. A. R, F. Arteaga & R. Nápoles, (1991). El delta de marea oriental del cayo Frágoso, archipiélago de Sabana, Cuba. Inst. Geogr. Acad. Cienc. Cuba. Rep. Invest. No 6. La Habana, 17 p.
- Massip. S, (1940). Deltas lineales de la costa nordeste de Cuba. Rev. Soc. Geog. Cuba. No 1-4. La Habana, 25-34 p.
- Montoya. S, (1983). Informe sobre los trabajos de búsqueda de acumulación de arenas marinas en la plataforma sur de Matanzas. Arch. ONRM. La Habana.
- Murina. V. V, V. D. Chujchin, O. Gómez & G. Suárez, (1969). Distribución cuantitativa de la macrofauna bentónica del sublitoral superior de la plataforma cubana (plataforma noroccidental). Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. Serie Oceanol. No 6. La Habana, 14 p.
- Nápoles. E, R. García, A. Rodríguez & M. Sánchez, (1990). Prospección preliminar y detallada de arena marina para la construcción en el sector Gibara-río Seco. Plataforma nororiental. Esc. 1: 50 000. Arch. Inst. Geol. Paleont.
- Nedved. B. (1966). Trabajos de búsqueda de fangos coralinos en el yacimiento cayo Moa Grande. Arch. ONRM. La Habana.
- Nuevo Atlas Nacional de Cuba, (1989).
- Núñez-Jiménez. A, (1970). Las aguas de cayo Caguanes. Inst. Geog. Acad. Cienc. Cuba. Rev. Ser. Esp. y Cars. No 15. La Habana, 19 p.
- , (1982). El Archipiélago. T.I. Edit. Letras Cubanas. La Habana, 669 p.
- , (1984). Cuba: La Naturaleza y el Hombre. Bojeo. La Habana, 702 p.
- Palmer. R. H, (1941). An Active Syncline. Jour. Geol. Vol. 49. No7, 272-275 p.
- Pavlidis. Y. A, A. S. Ionin, E. I. Ignatov. M. Luis & O. Avello, (1973). Condiciones de formación de la oolita en las regiones someras de los mares tropicales. Rev. Serie Oceanol. No 18. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. La Habana, 18 p.
- Peñalver. L. L, (1982). Correlación litoestratigráfica entre los depósitos cuaternarios de la plataforma noroccidental de Pinar del Río y las tierras emergidas próximas. Rev. Cienc. Tierr. Esp. No. 5. La Habana, 63-83 p.
- , M. Cabrera, R. A. Denis, C. M Pérez & R. García, (2003). Cartografía de los depósitos pliocuaternarios de la Isla de la Juventud. Escala 1: 100 000. Arch. Inst. Geol. Paleont.
- Pokrinshkii. V, (1966). Informe de los trabajos de búsqueda y reconocimiento de fosforita en la República de Cuba realizados en los años 1964-65. Arch. ONRM. La Habana.
- Ramírez. E, (1984). Características geomorfológicas de la zona de Juraguá. Rev. Cien. Tierr. Esp. Inst. Geol. Paleont., No 9. La Habana, 105-115 p.
- , (1988). Geomorfología de las playas del este. Tesis de Doctor en Ciencias Mineralógicas. Inst. Oceanol. La Habana.
- Richardson. A. F, (1932). Reconocimiento de los cayos, arrecifes y la región costera de la costa norte de Cuba, desde Sagua La Grande hasta Turiguanó. Arch. ONRM. La Habana.



- Rodríguez. R, M. Cabrera, A. Hernández & R. Guerra, (1984). Distribución mineralógica en el *shelf* occidental de la Isla de la Juventud. Rev. Ser. Geol. CIG No.1. La Habana, 102-121 p
- Shantzer. E. V, O. M. Petrov & G. L. Franco, (1976). Sobre las terrazas marinas costeras de Cuba y los sedimentos vinculados con ellas. Rev. Acum. Sedimen. Cuater. y Form. Relieve en Cuba. Acad. Cienc. URSS. Moscú, 34-80 p.
- Shepard. F. D, (1960). Rise of sea level along northwest Gulf of Mexico. In: Recent sediments Northwest Gulf of Mexico. Oklahoma, Tulsa.
- , (1969). Geología marina. 2da. Edición. Edit. Nedra. Leningrado, 425 p.
- , (1976). Geología marina. 3ra. Edición. Edit. Nauka. Moscú. 438 p.
- Suyí. C, V. Ramos, A. Hernández & R. González, ( 1981). Informe sobre los resultados de los trabajos de reconocimiento pronóstico-evaluativo para minerales sólidos en el *shelf* noroccidental. Arch. ONRM. La Habana.
- , (1969a). Mares someros de Cuba occidental y sus depósitos. Rev. Oceanol. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. URSS, No 2. Moscú, 12-19 p.
- , (1969b). Barreras coralinas de Cuba. Colección Acad. Cienc. URSS. Ser. Geogr. No 2. Moscú, 21-27 p.
- Zenkovich. V. P & A. S. Ionin, (1969). Breve resumen sobre las investigaciones de la estructura y dinámica de la zona litoral de la Isla de Cuba. Inst. Oceanol. Acad. Cienc. Cuba. Serie Oceanol. No 8. La Habana, 22 p.
- Vasiliev. B. P & Y. A. Pavlidis, (1975). Particularidades mineralógicas en la constitución de los sedimentos porosos de las provincias cubanas de alimentación. En: Morfolitogénesis e historia del Cuaternario tardío en zonas litorales de las plataformas. Nauka, No 4, Moscú, 64-75 p.
- Villasol. A, H. Quintana & O. Ledesma, (1988). Morfología y depósitos sedimentarios en la bahía de Santiago de Cuba. En: Contribución al Simposium de Ciencias del Mar y VII Jornada Científica del Inst. Oceanol. XX Aniver. Acad. Cien. Cuba. La Habana, 431-435 p.



## **HIPÓTESIS ALTERNATIVA SOBRE LA POSICIÓN ESTRUCTURAL DE LAS OFIOLITAS EN CUBA ORIENTAL**

Mario Campos Dueñas, Jorge de Huelbes Alonso

*Instituto de Geofísica y Astronomía*

El presente trabajo tiene por objetivo realizar un análisis crítico acerca de las ideas existentes sobre la posición estructural de las ofiolitas de Cuba Oriental (Cinturón Mayarí – Baracoa), proponiendo una hipótesis alternativa que pretende resolver algunos aspectos contradictorios de las ideas existentes en relación con este problema.

En cuanto al emplazamiento de las ofiolitas, los autores se adhieren a los criterios expuestos por prestigiosos investigadores como, Knipper y Cabrera (1972, 1974); Cobiella (1978); Iturralde-Vinent (1976, 1977, 1994); los cuales interpretaron los macizos ofiolíticos de Mayarí – Baracoa como un alóctono, con una estructura muy compleja.

Sin embargo algunos aspectos relacionados con la génesis, la dirección de emplazamiento de los mantos tectónicos y la relación estructural con las rocas del Arco Insular Volcánico Cretácico (AIVC) en la región no han sido suficientemente esclarecidos y pueden tener interpretaciones alternativas.

En resumen entre los aspectos que se toman en cuenta para formular la hipótesis alternativa que se propone se encuentran:

- Las ofiolitas de Cuba oriental constituyen fragmentos de una cuenca marginal pasiva ó formaron parte del basamento de la cuenca de antearco (forearc) del AIVC
- La relación estructural de las ofiolitas con las rocas del AIVC, se corresponden con las de las zonas de colisión y tiene naturaleza transcurrente, con la presencia de estructuras escamosas locales.
- Las formaciones olistostrómicas de La Picota y Mícara sobreyacen al complejo Vulcano-Plutónico del AIVC y a las ofiolitas y se formaron en un ambiente geodinámico de colisión y transurrencia.

Las consideraciones realizadas pudieran extenderse para explicar la posición estructural de las ofiolitas en otras zonas de Cuba y en el Norte de La Española.



## INTERCRATONIC OROGENS: THE CARIBBEAN AND SCOTIA ARCS

Ian W. D. Dalziel, Lawrence A. Lawver, Lisa M. Gahagan, and Paul Mann

*Institute for Geophysics, John A. and Katherine G. Jackson School of Geosciences, University of Texas at Austin, 4412 Spicewood Springs Road # 600, Austin, TX 78759-8500 U.S.A. Email: [ian@ig.utexas.edu](mailto:ian@ig.utexas.edu), [lawver@ig.utexas.edu](mailto:lawver@ig.utexas.edu), [plates@ig.utexas.edu](mailto:plates@ig.utexas.edu), and [paulm@ig.utexas.edu](mailto:paulm@ig.utexas.edu)*

The Caribbean and Scotia arcs are two striking features of any tectonic map of the Earth and are in fact nearly identical in size. They are respectively located between North and South America, and South America and Antarctica, joining the North American Cordillera to the Andes, and the Andes to the West Antarctic continental margin orogen. Their tectonic evolutions can be related to the relative motion between the two pairs of cratons. Their evolving physiography produced critical controls, varying with time, on the movement of biota between the cratons, and between the Pacific and Atlantic Oceans.

The Caribbean arc differs from the Scotia arc with the presence of the Central American land bridge. Yet differential motion along the Shackleton Fracture Zone between Cape Horn and the tip of the Antarctic Peninsula has produced a ridge as shallow as 700 meters. This ridge with only minor changes in plate motions could develop into a subduction zone and generate an island arc. Absence of a South America-Antarctica land bridge permits a complete and vigorous wind-driven circum-Antarctic current and intense sediment scour in Drake Passage.

Cenozoic magnetic anomalies have been identified in Drake Passage and the eastern Scotia Sea where oceanic crust was formed as Antarctica separated from South America. High sedimentation rates, possible formation during the Cretaceous Normal Superchron, and a large igneous province obscure the equivalent history of the older Caribbean arc and seafloor. The nature and tectonic history of these 'fusible orogenic links' between the continental margin cordilleras of the western Americas and Antarctica are considered as are their evolutions in terms of possible 'mantle return flow' from the Pacific Ocean basin to the Atlantic Ocean basin. Possible analogs to the ancient geologic record such as a link between the Ordovician Taconic and Famatinian arcs of North and South America are also considered.





## ISLA DE GUADALUPE, MÉXICO (GUAX) A GPS RELATIVE CONSTRAINT FOR THE CALIFORNIAS, GULF OF CALIFORNIA AND NORTHERN MÉXICO MOTIONS

José Javier González García (javier@cicese.mx)

*Laboratorio de Geodesia y Geodinámica, Departamento de Sismología, Division Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada Baja California C. P. 22879, México.*

Using the International Terrestrial Reference Frame 2000 as a common link, I analyzed survey mode and permanent Global Positioning System (GPS) published results, together with Scripps Orbit and Permanent Array Center public data and results (<http://sopac.ucsd.edu>), in order to evaluate relative present day crustal deformation in California and northern Mexico. The crustal velocity field of Mexico (Marquez-Azua and DeMets, 2003) obtained from continuous GPS measurements conducted by Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) for 1993-2001, was partially used. My preferred model for an instantaneous rigid motion between North-America and Pacific plates (NAPA), was obtained using results of Isla de Guadalupe GPS surveys (1991-2002) producing a new constraint for Pacific plate (PA) motion (Gonzalez-Garcia et al., 2003). It gives an apparent reduction of 1 mm/yr in the "absolute" motion in the border zone between PA and North-America (NA) plates in this region, as compared with other GPS models (v.g. Prawirodirdjo and Bock, 2004) that not use Isla de Guadalupe in the inversion estimation; and it is 3 mm/yr higher than NNRNUVEL-1A. In a rigid Pacific plate reference frame, westernmost islands from San Francisco (FARB), Los Angeles (MIG1), and Ensenada (GUAX); give current residuals of 1.70, 1.26 and 0.88 mm/yr and azimuths that are consistent with local tectonic setting, respectively. For the southern part of Isla de Guadalupe (GUAX) our model gives 51.8 mm/yr in a North America-Pacific reference frame. In our North America plate reference frame, besides the confirmation of 2 mm/yr extension on a  $\sim 72^\circ$  SW direction for the southern Basin and Range province in northern Mexico; a present day deformation rate of 40.44 mm/yr between San Felipe, Baja California (SFBC) and Hermosillo, Sonora, is obtained. This rate agrees with a 6.31 to 6.68 Ma (Oskin et al., 2001; Oskin and Stock 2003) for the "initiation of a full sea-floor spreading" in the northern Gulf of California. SFBC has a 7.17 mm/yr motion in our Pacific plate reference frame, giving then, a full NAPA theoretical "absolute" motion of 47.44 mm/yr. For Puerto Peñasco, Sonora (PENA) there is a NAPA motion of 46.11 mm/yr and a residual of 1.20 mm/yr in the NA reference frame, this site is located only 75 km to the northeast from the Wagner basin spreading center. Finally, full present day relative North America-Pacific motion at the Alarcon Rise must be only  $50.08 \pm 0.27$  mm/yr in agreement with the lower limit of the NAPA "geological" model obtained by DeMets and Dixon (1999). More sites like GUAX must be built in Mexico in order to better constraint the NAPA reference frame in California, Arizona and northern Mexico. In order to obtain a better constraint for North America Plate, besides observations in Southern Mexico, this effort must include GPS observations in all Cuba.

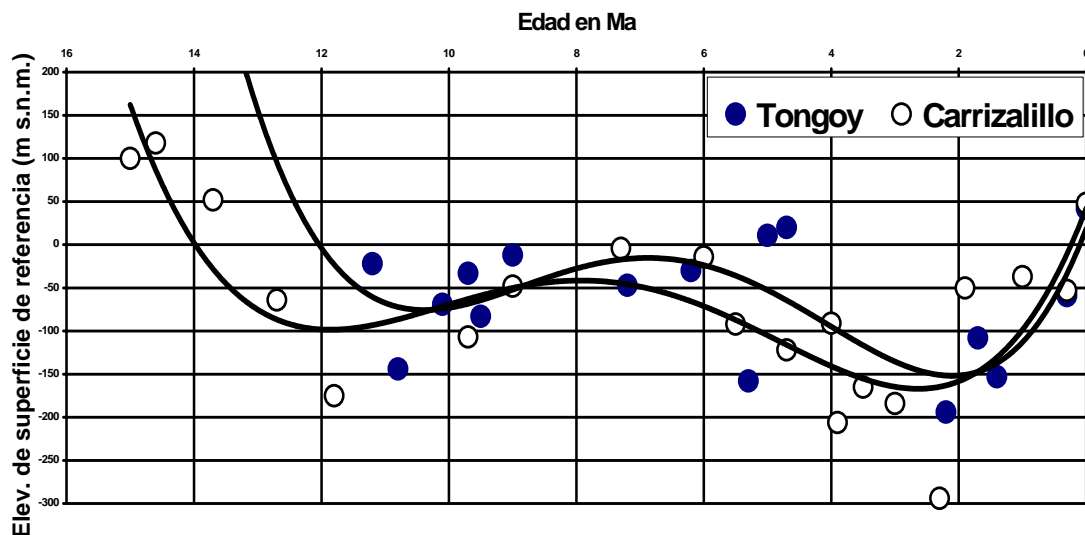


## LA APLICACIÓN DE BACKSTRIPPING EN EL CALCULO DE LA VELOCIDAD DE CONVERGENCIA ENTRE LA PLACA DE NAZCA Y EL CONTINENTE SUDAMERICANO

Jacobus P. Le Roux, Carolina Gómez, Danisa Olivares

Universidad de Chile

Se aplicó backstripping a depósitos neógenos de la Formación Coquimbo al sur y norte de La Serena, Chile central, para determinar el comportamiento de la corteza continental después del Mioceno Medio. La relación entre los cambios eustáticos del nivel del mar y la batimetría de los depósitos sedimentarios permite extraer el efecto del tectonismo local. En ambas áreas de estudio, se obtuvo resultados muy similares, aunque con un retraso de unos 1.2 Ma entre eventos de solevamiento y subsidencia, atribuidos al acercamiento y paso de la dorsal Juan Fernández. La correlación de los eventos entre las áreas de estudio permite calcular la velocidad de convergencia entre la placa de Nazca y el continente de Sudamérica. Se obtuvo una velocidad de 5.9 a 7 cm/año para el período 11.9 – 6.9 Ma. Este resultado además es compatible con eventos de solevamiento en el interior de Chile. Alrededor de 2.3 Ma, otro evento de solevamiento comenzó en ambas áreas, esta vez con un retraso de 0.6 Ma de norte a sur. Constreñimientos trigonométricos sugieren la presencia de una dorsal oceánica todavía no conocida, con un rumbo de 022°, en subducción debajo de la margen continental actual. La subducción de bajo ángulo de placas, típica de la costa central de Chile, así puede tener un mejor desarrollo donde hay más que una dorsal en proceso de subducción, aumentando la flotabilidad de la corteza oceánica.



Comportamiento de la corteza continental en Carrizalillo y Tongoy, al norte y sur de La Serena, respectivamente.



## LA MICROTECTÓNICA Y LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA COMO FORMA DE INVESTIGACIÓN DE UNA REGIÓN ESPIRITUANA

Sosa Carlos, I. Hernández, M. Pendas; C. Morález; Y. Tamayo, Y. Rosell

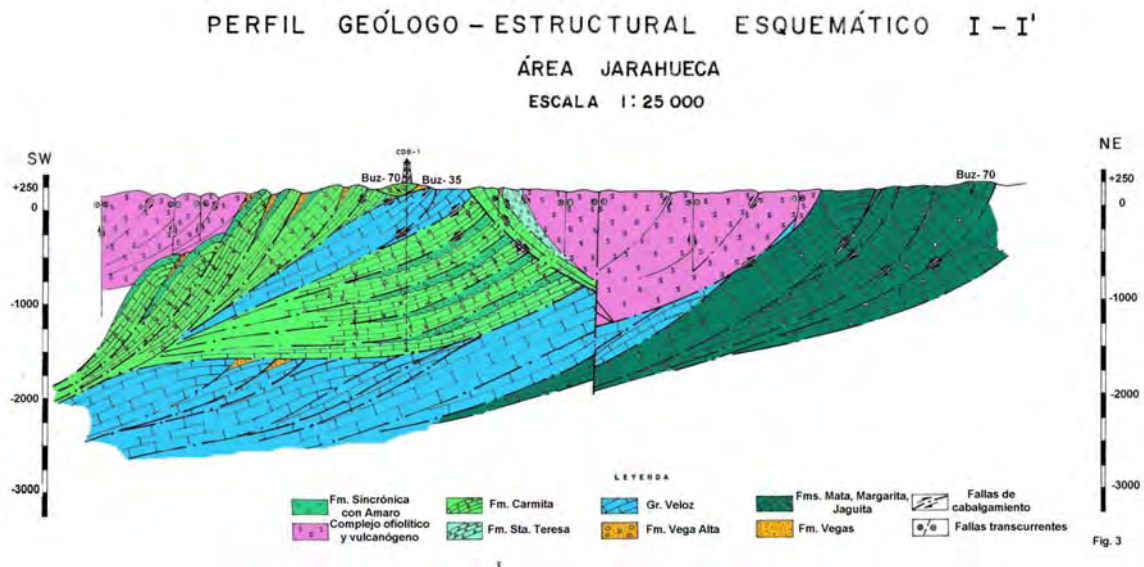
CEINPET, Washington 169 esq. Churruca, Cerro. C. Habana. Sosa@ceinpet.cupet.cu

Las investigaciones desarrolladas en la "Estructura Jarahueca" y sus áreas aledañas, posibilitaron la cartografía geológica a gran escala y el estudio microtectónico de la misma.

La pesquisa, posibilitó la elaboración del mapa geólogo – estructural del área de los trabajos, acompañado por perfiles geológicos. Estos, muestran una compleja situación geológica, en la que se destacan los apilamientos de rocas del complejo ofiolítico, y de la cuenca del margen continental, dando lugar a complicadas estructuras cabalgadas y retro cabalgadas (POP – UP).

Desde el punto de vista estratigráfico, las rocas más antiguas estudiadas pertenecen la Fm. Cifuentes III, del Tithoniano Superior ( $J_3 t^3$ ), sobre ellas, concordantemente la Fm. Ronda del Berriasiano – Valanginiano ( $K_1^{b-v}$ ). Se emplazan tectónicamente encima de las precedentes las rocas de la Fm. Carmita, del Aptiano – Cenomaniano ( $K_1^a K_2^c$ ). Discordantemente sobre la formación anterior, descansan las rocas del Campaniano – Maestrichtiano ( $K_2^{cp-m}$ ), esencialmente calcareníticas, asociadas por unos a la Fm. Camajuaní? y por otros a la Fm. Amaro. A esta última no la asociamos nosotros. Entre las rocas de la Fm. Carmita y las del GR. Veloz, y entre los propios pliegues de la primera, estudiamos los sedimentos sin orogénicos de la Fm. Vega Alta, del Paleoceno – Eoceno Inferior y Medio ( $P_1^{2-3}$ ).

El estudio microtectónico establece que los esfuerzos mantuvieron una dirección predominante del SSW-NNE, aunque la aparición de varios sistemas conjugados de fracturas, demuestran que éstos sufren un giro horario. Por otro lado, la pesquisa posibilitó destacar las características fundamentales de los reservorios en los sistemas rocosos y los principales sistemas de fracturas que los integran, analizando la influencia de los mismos en la actividad productivo – petrolera de la propia región, correlacionando esta información con la conocida en la franja de crudos pesados, donde se ubican los yacimientos actualmente en producción.





## **MAPA GEOLOGICO DEL TERRITORIO CIEGO-CAMAGUEY –LAS TUNAS**

Enrique Piñero Pérez

Empresa Geominera Camaguey

Las investigaciones geológicas a escala 1:50000 comenzaron en el territorio de la Provincia de Camagüey en la década de los años 80 y culminaron en los 90 extendiéndose a partes del territorio de las provincias de Ciego de Ávila y Las Tunas. En esta década de trabajo se generó un enorme volumen de información que como uno de los resultados fundamentales, lo constituye el mapa geológico a escala 1:50000. El objetivo de nuestro trabajo es la actualización del mapa geológico de estas zonas que hasta el momento existe a escala 1: 100000 generado por las academias de Ciencias de Cuba y Bulgaria en los años 80. En el mismo hemos insertado la información sobre la base de los criterios más actualizados obtenidos como resultado de las investigaciones geológicas regionales a escala 1:50000, lo que nos permitió la confección un mapa geológico a escala 1: 250000 actualizado, el cual constituye un material con toda la información necesaria actualizada para consultas u otros intereses.



## CLASIFICACION OF THE EARTH S CRUST AND PLANETARY TECTONIC CONCEPT

Sanja T. Dragasevic

*NIS-Naftagas, Geofizicki institut, Batajnicksi put 18, ZIP 11 000. E-mail: sirija@eunet.yu*

There are two types of the Earth s crust defined by certain physical parameters for the oceanic areas on one side and continental areas on the other. We may observe there that the terms used are not the most adequate ones and therefore, it was necessary to distinguish certain types of the crust in a descriptive way. However, unrealistic classification of the Earth s crust types may be a consequence of unrealistically based concept of the Earth s crust structure and the processes going on within it. I would remind here on the times when the Earth s crust was formed as the last phase of the planet Earth formation. The crust covered the entire surface of the Earth. It was the primary crust of the Earth. That is period in which there was no hydrosphere. On the other side there was a very intense tectonic activity. Volcanic and magmatic activities created on the Earth s surface various tectonic elements. Ridges, mountain chains, volcanic cupolas and the zones of complex relief. At the same time, those tectonic elements were also the embryonic parts of the new developing crust or secondary crust. This activity was particularly extensive in certain parts of the planet so that the zones of extensive and complex relief were created and in the later stages these zones were the embryos of the present continents. When hydrosphere was formed, water covered the lowered parts of the planet surface, which mostly corresponded to the primary crust. The prominent parts of the relief made of developed secondary crust mostly remained above the water level.



## ARGUMENTOS SOBRE LA EXISTENCIA DE UNA CUENCA DE PULL APART RELACIONADA CON LA ZONA DE CURVATURA DE LA FALLA PINAR

**Dámaso Cáceres Govea<sup>(1)</sup>, Raidel Toirac Proenza<sup>(2)</sup> y Naivel Aguilar Alonso<sup>(2)</sup>**

(1) Calle Colón Edif. 2608, Apto 3, Rpto Raúl Sánchez, Pinar del Río, Cuba.

E-mail: [dcaceres@geo.upr.edu.cu](mailto:dcaceres@geo.upr.edu.cu)

(2) Calle Martí No. 272, Esq. 27 de Noviembre, Pinar del Río, Cuba.

### RESUMEN

A lo largo de la falla Pinar, en su bloque norteño, diferentes indicadores muestran el ambiente transpresivo bajo cuyo efecto tuvieron lugar los desplazamientos principales, en todos los casos sinistral, con orientación cercana a los  $060^{\circ}$  y argumentada como una fractura de riedel principal, originada bajo fuerzas compresivas de orientación Noreste.

Hacia la porción más Suroeste, alrededor del río San Juan, es evidente un cambio de orientación en la zona de falla, originándose una marcada curvatura hacia en Sur-Suroeste.

Después de profundizar en el análisis estructural del área y a partir de la reinterpretación de investigaciones previas, se ha arribado a las siguientes conclusiones:

- El área de la zona de falla Pinar, atravesada por el río San Juan, manifiesta un movimiento transcurrente siniestro, coincidente con el resto de la estructura descrita hacia su porción más oriental.
- La presencia de pliegues de kink band normal, el desarrollo de sistemas de vetas de extensión y su orientación, y la verticalidad de los sistemas de grietas y fallas, expresan el desarrollo de estas estructuras en un régimen distensivo.
- El diagrama de contorno general elaborado para esta área, muestra una orientación de la tensión principal al Noreste  $039^{\circ}$  bajo un régimen distensivo.
- La curvatura de la zona de falla Pinar, establece las condiciones necesarias para el cambio de régimen transpresivo a transtensivo hacia el Oeste. Otras observaciones estructurales y la orientación de los principales sistemas de fallas, argumentan sobre la existencia de una cuenca de pull apart en la región.

### ABSTRACT

Along Pinar fault, in its northern block, has been described a series of structures that evidence its sinistral displacement. A lot of markers show the transpressive environment under which effect took place main displacements, in all the cases sinistral displacements of Pinar fault oriented about  $060^{\circ}$  and it is explained as a principal riedel fracture based on north-eastern orientation strength.

Towards southwestern portion around San Juan river, there is evident an orientation change in the fault zone, which gives a remarkable curvature to the south-south-east.

The following conclusions have been made after developing structural analysis of the area and the reinterpretation of previous investigations:

- The area of Pinar fault zone intersected by San Juan river shows a transcurrent movement, expressed by vergent fold development, which indicates the displacement way, according to the rest of the described for it but with a remarkable orientation to south-south-east.
- The obtained structural data during field works, such as the presence of normal kink band folds, the development of extension joint systems and its orientation, and the verticality of shear joints and faults, express the development of these structures in a distensive regimen.
- The general contour diagram elaborated for this area shows an orientation of the principal stress to northeast  $039^{\circ}$  under a distensive regimen.





-The curvature of Pinar fault zone explained as principal riedel fracture of sinister displacement, establishes the necessary conditions for the change of described transpressive conditions to transtensive conditions toward the occident and the existence of a pull apart basin in the region.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios tectónicos detallados, realizados con anterioridad en la zona de falla Pinar, se refieren al intervalo comprendido entre el río San Sebastián en su extremo occidental, hasta cerca del cruce de la carretera Cayajabos-Artemisa con la autopista nacional en su extremo oriental, resultando por tanto interesante extender las investigaciones hacia el occidente, teniendo en cuenta que precisamente a partir del río San Sebastián, comienza a manifestarse un marcado cambio de orientación en la zona de falla, que se acentúa extraordinariamente a partir de su intersección con el río San Juan.

Esta curvatura debe ser responsable del surgimiento de un ambiente transtensivo hacia el extremo Suroeste de la estructura principal, creándose teóricamente las condiciones para el surgimiento de una cuenca de pull-apart (Sims, et al., 1999), al menos en su forma más incipiente, apareciendo nuevos elementos no descritos anteriormente que denotan un ambiente transtensivo.

Abundante literatura científica publicada en los últimos años da explicación al surgimiento de cuencas de pull-apart, relacionadas a un cambio en la orientación de fallas transcurrentes, en las que puede apreciarse un ambiente distensivo a partir del desarrollo de estructuras típicas (Twiss and Mores, 1992).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de esta investigación se tuvieron en cuenta los últimos trabajos desarrollados en la zona, especialmente los relacionados con la zona de falla Pinar, que indican su funcionamiento sinistral (Mann, et al., 1996; Cáceres, 1997) y su interpretación como una fractura de riedel principal (Cáceres 1997, 1998). Fueron analizadas numerosos afloramientos a lo largo de esta estructura, desde el río San Sebastián en su porción occidental hasta cerca del cruce de la autopista nacional con la carretera Cayajabos-Artemisa.

Se realizó un análisis de las hojas topográficas a escala 1:50 000 y especialmente la que corresponde a San Juan Y Martínez, se revisaron algunos trabajos realizados durante la década del 70 por el equipo de geólogos de las Academias de Ciencias de Cuba y Polonia que investigó la región, se revisaron los mapas geológicos y los esquemas tectónicos correspondientes a los trabajos de levantamiento geológico Pinar I y Pinar II, para seguir la orientación de las estructuras en toda su extensión y su relación con la marcada zona de curvatura en la falla Pinar, mucho más acentuada en las proximidades del río San Juan.

La actividad fundamental de investigación se desarrolló mediante trabajos de campo de detalle por un itinerario sobre el lecho del río San Juan, próximo al embalse del mismo nombre, que en su trayectoria atraviesa transversalmente las estructuras, dejando al descubierto buenos afloramientos pertenecientes a la Formación Arroyo Cangre y la zona de falla, hasta penetrar en los depósitos más jóvenes situados al sur de la misma, representados por las secuencias de la Formación Los Negros.



Se realizó la descripción de afloramientos y la medición de estructuras plicativas y disyuntivas, con especial énfasis en los sistemas de grietas y vetas de cuarzo.

El trabajo de laboratorio estuvo encaminado al procesamiento automatizado de los datos de campo y la obtención de diagramas, mediante el programa SpheriStat 1.1, 1990.

### **Descripción del perfil río San Juan.**

El itinerario se inicia sobre la zona de falla Pinar, en un intervalo de buenos afloramientos sobre el lecho del río San Juan, en las cercanías al Complejo Hidráulico del mismo nombre.

Pto. 1.- Representado por un afloramiento de  $8 \times 10 \text{ m}^2$ , a la izquierda del camino que conduce a la presa. Está constituido por esquistos cuarzomícáceos a veces carbonosos, muy foliados, con abundantes vetas de cuarzo de hasta 15 cm de espesor, que coinciden con los planos de estratificación ( $S_0$   $090^\circ/45^\circ$ ). Aparecen además vetas transversales más finas de hasta 2 cm de espesor.

Se observan numerosas y pequeñas escamas a veces muy contorsionadas, y gran cantidad de fallas en un sistema principal Noroeste-Sureste, y otro Noreste-Suroeste menos evidente.

Pueden distinguirse algunos pliegues de kink band normal y vetas de cuarzo replegadas indicando el sentido de los esfuerzos deformacionales. En este punto se realizaron mediciones estructurales a vetas de extensión e híbridas, así como a fallas.

Pto. 2.- Localizado a 20 m del punto anterior, constituye un afloramiento continuo de esquistos cuarzomícáceos muy foliados con  $S_0$   $150^\circ/40^\circ$ , y abundantes pliegues de kink band que en su mayoría poseen ejes orientados entre los 95 y 105 grados, cercanos a la horizontal, y contorsiones de capas. Las rocas son atravesadas por numerosas vetas de cuarzo de hasta 20 cm de espesor concordantes con la estratificación, y otro sistema transversal de grietas cortas de extensión de rumbo NE  $040$  grados.

Coincidiendo con los planos de foliación se desarrollan intervalos de 1-1.5 m de espesor, con abundantes vetas irregulares que individualmente alcanzan hasta 20 cm. Ocasionalmente pueden describirse pliegues retorcidos que afectan dichas vetas. En este punto se realizaron mediciones estructurales a vetas de extensión, fallas y ejes de pliegues.

Pto. 3.- Justamente frente a la elevación topográfica cortada por el camino, al margen del río, el afloramiento mantiene una constitución a base de esquistos cuarzomícáceos a veces carbonosos, esta vez más intensamente atravesadas por numerosas vetas de cuarzo concordantes y cortantes a la estratificación. Se describen además abundantes grietas de cizalla con orientación predominante Noreste  $040$  grados. Los paquetes intensamente afectados por las vetas de cuarzo llegan a alcanzar en su conjunto hasta 2,5 m, en ocasiones coloreados de tonos rojizos, verdosos y amarillentos. En este punto se realizaron mediciones estructurales a numerosas grietas de cizalla.

Pto. 4.- Situado a 20 m del punto anterior, el afloramiento ocupa un área de  $10 \times 30 \text{ m}^2$ . Está constituido por esquistos cuarzomícáceos muy foliados con  $S_0$   $130^\circ/40^\circ$ , atravesados



por vetas de cuarzo subparalelas a la estratificación, que alcanzan hasta 20 cm de espesor. También aparecen abundantes vetas transversales (más que en los afloramientos anteriores), que alcanzan varios metros de longitud con orientación NW 350 grados. Se observan escasos pliegues en comparación con los puntos anteriores. En esta localidad se realizaron mediciones estructurales a vetas de extensión.

Pto. 5.- Situado en el extremo más norteño del afloramiento, ocupa un área de 10x10 m<sup>2</sup>. Está constituido por esquistos cuarzomicaáceos finísimamente foliados, atravesados por vetas de cuarzo subparalelas a la estratificación y algunas transversales, como en los puntos anteriores. Se reconocen además abundantes grietas de cizalla. En este punto se realizaron mediciones estructurales de vetas de extensión y grietas de cizalla.

### **Descripción de los diagramas confeccionados a partir de los datos obtenidos durante el trabajo de campo.**

Los diagramas de arco fueron confeccionados a partir del procesamiento automatizado mediante el programa SpheriStat, utilizando para ellos la totalidad de los datos obtenidos en el intervalo analizado.

El diagrama para vetas de extensión, muestra un marcado grupo de vetas, que muy cercanas a una posición vertical, presentan una orientación Noroeste-Sureste entre 280 y 300 grados, mientras un menor número de éstas, con buzamiento más marcado al Sureste se orientan en una dirección Noreste-Suroeste cercana a los 045 grados.

El diagrama para vetas híbridas, muestra de igual manera dos grupos bien definidos, pero esta vez más balanceados: uno de orientación Noroeste-Sureste cercano a los 310 grados y otro Noreste-Suroeste próximo a los 080 grados.

El diagrama para grietas de cizalla, representa una distribución bastante uniforme de las mismas, indicando una orientación de los esfuerzos al Noreste-Suroeste cercano a los 005-010 grados.

El diagrama para fallas, de igual manera que los diagramas anteriormente descritos, muestra dos marcados sistemas de fallas bastante verticales: uno con orientación Noroeste-Sureste cercano a los 320 grados y otro de orientación Noreste-Suroeste próximo a los 080 grados.

Los diagramas de contorno fueron confeccionados a partir de los datos recolectados en el área y procesados mediante el programa SpheriStat.

El diagrama de contorno para grietas de cizalla, manifiesta una orientación de los esfuerzos compresivos Noreste-Suroeste cercana a los 006 grados, mientras el stress principal es distensivo al Este-Noreste cercano a los 082 grados.

El diagrama de contorno general para grietas de todo tipo, vetas y fallas representa una situación similar, expresando una orientación prácticamente Norte-Sur de los esfuerzos compresivos cercano a 001 grados, mientras el stress principal es distensivo de orientación Noreste-Suroeste cercano a los 039 grados.

## **DISCUSIÓN**



### **Reinterpretación de la información de investigaciones precedentes.**

Una observación minuciosa de la red de fallas en la Sierra de los Organos, realizado sobre la base de la interpretación de fotos aéreas (Tomado de Piotrowska, 1987), expresa con claridad la orientación de los diferentes sistemas de fallas que afectan la región, confirmados por todos los trabajos posteriores realizados por diferentes especialistas (Figura 1).

Son evidentes los sistemas de fallas de orientación Noroeste-Sureste y Noreste-Suroeste, interpretados por Cáceres (1997), los primeros como la superposición de dos eventos diferentes: el más antiguo interpretado como fallas transcurrentes originadas durante el avance diferencial de los mantos durante los sobrecorrimentos, y otro más joven, que se le superpone, que apareció como fracturas de riedel secundarias durante el desarrollo de la zona de falla Pinar. El sistema de orientación Noreste-Suroeste corresponde esencialmente a fracturas de riedel secundarias originadas simultáneamente con el sistema anteriormente descrito, durante la aparición de la zona de falla Pinar como una fractura de riedel principal de orientación cercana a los 060 grados, a partir de un máximo stress compresivo de orientación Noreste cercano a los 025 grados.

Pero, el patrón de fracturas en la faja Cangre difiere de el del resto de las estructuras, y si se toma al río San Juan como referencia, se nota una mayor densidad de dichos sistemas hacia la porción más Noreste, mientras hacia el Suroeste y Oeste su densidad se hace considerablemente menor, el sistema Noreste-Suroeste se hace prácticamente Norte-Sur, y comienza a aparecer un nuevo sistema muy bien orientado hacia el Noreste 060 grados, no correlacionable con ninguno de los sistemas descritos anteriormente, pero que proyectados hacia el Este coinciden perfectamente con la orientación de la falla Pinar antes de su brusco cambio de orientación al Sur-Suroeste, pudiendo correlacionarse con ésta.

Un análisis del croquis tectónico de la parte central y occidental de la Sierra de los Organos (con los diagramas de fallas) (tomado de Piotrowska, 1987) (Figura 2), muestra también una marcada diferencia entre los diagramas de roseta, con los de la región más sureña. A partir de datos de campo, así como de interpretaciones de fotos aéreas, aparece un nuevo máximo con orientación próxima a los 060 grados, mientras hacia el Norte, donde la falla Pinar toma su definitiva orientación, dicho máximo prácticamente desaparece.

Si se analiza la zona de falla Pinar en toda su extensión, resulta evidente que no se trata de una línea recta perfectamente orientada al Este-Noreste 060 grados, sino que presenta determinadas variaciones que hacen que este ángulo a veces resulte mayor, próximo a los 070 grados y más, mientras otras veces comienza a disminuir súbitamente hasta alcanzar aproximadamente los 015 grados. Esto trae como resultado una respuesta diferente de las secuencias objeto de desplazamiento. Por otra parte, la orientación de las estructuras asociadas con la zona de falla varía con la orientación de ésta.

Piotrowska (1987), manifestó que una comparación de las direcciones de las lineaciones principales relacionadas con los sobrecorrimentos, los ejes de las estructuras mayores, y el rumbo de las capas, permite asegurar la concordancia que existe entre ellas en Sierra de los Organos, manifestándose una situación diferente en las unidades metamorfizadas, cuyas mesoestructuras muestran direcciones entre 50 y 70 grados, mientras que las



estructuras mayores observables en las fotografías aéreas rebelan ejes de azimutes de 40 a 60 grados. Este dato resulta interesante en el análisis que se aborda.

Las unidades metamorfizadas del occidente cubano se enmarcan precisamente en este cuadro tectónico, representado en el Mapa tectónico de la parte central de la provincia de Pinar del Río, (Martínez, 1988), y desde su aparición en el extremo más oriental (San Diego) hasta aproximadamente 2 km al Este de Paso Viejo, la orientación de la falla Pinar sobrepasa los 060 grados. En este intervalo, las fuerzas de orientación Noreste 025 grados causantes de la fractura principal actúan provocando una fuerte compresión, que da lugar a una estructura en flor positiva (Twiss and Mores, 1992).

A partir de este punto y hasta la localidad El Cangre, la falla mantiene su orientación ideal próxima a los 060 grados y continúan las condiciones compresivas, aunque teóricamente éstas deben ir disminuyendo gradualmente.

Desde El Cangre hasta la localidad Lagunilla, el ángulo de orientación de la falla disminuye continuamente hasta cerca de los 030 grados; las fuerzas que actúan desde el Noreste 025 grados inciden con un ángulo sumamente bajo sobre la falla, evidentemente todavía hay compresión, pero es significativamente inferior a la que estaba teniendo lugar más al Este.

Del análisis de las estructuras desarrolladas en la unidad Pino sólo, es evidente la diferenciación de aquellas directamente relacionadas a la tercera fase deformacional (Cáceres, 1997; 1998), o sea, las que guardan una estrecha relación con el desplazamiento sinistral a lo largo de la zona de falla Pinar, y en todos los casos, manifiestan un régimen transpresivo, siendo comunes las estructuras de esquistosidad-cizallamiento sinestrales, pliegues de kink band inversos, pliegues con vergencia suroeste combinados con fallas inversas, etc.

A partir de Lagunilla y hasta el río San Juan, el ángulo de orientación de la falla continúa disminuyendo hasta cerca de los 010 grados, lo que da lugar a un nuevo fenómeno. Ya las fuerzas de orientación Noreste 025 grados no pueden ejercer condiciones compresivas sobre dicho sector y más bien, se crean condiciones distensivas, originándose una estructura en flor negativa (Twiss and Moores, 1992), creándose las condiciones para el posible desarrollo de una cuenca de pull-apart según el régimen deformacional (Sims, D., et al., 1999). Un ejemplo similar al que tiene lugar en este sector se describe en la literatura al Noreste de Irán en la falla Dasht-e Bayaz.

### **Nuevos argumentos a favor de un régimen transtensivo.**

En este sector, aunque continúa manifestándose el carácter sinistral del desplazamiento con la presencia de pliegues retorcidos con vergencia Sur-Suroeste y Sureste indicadores del sentido del movimiento, aparecen además pliegues de kink band normal que indican condiciones distensivas. En algunos casos, coincidiendo con sus planos axiales se desarrollan finas vetas de cuarzo o sencillamente, grietas, pero su orientación responde inequívocamente a un proceso distensivo, por el movimiento de las masas rocosas al Sur-Suroeste.

De igual manera, la orientación de las vetas de extensión en el área, muestran una clara orientación de las mismas al Noroeste-Sureste, o sea, perpendiculares al movimiento de los bloques, lo que indica distensión, pues el mismo volumen de rocas dispone de un



espacio mayor. Otro grupo menor se dispone con orientación Noreste-Suroeste, prácticamente paralelo a la falla (perpendicular al sistema anterior), lo que indica que en este sentido también han cesado las fuerzas que provocaban la compresión.

Las vetas híbridas poseen una orientación similar, aunque el ángulo formado por los dos sistemas es más cerrado. La interpretación es similar, atendiendo al crecimiento de los cristales de cuarzo en este tipo de vetas, según el eje de distensión.

El análisis de las grietas de cizalla, muestra dos sistemas bien marcados que se interceptan hacia los 185-190 grados, indicando el sentido del movimiento.

Las fallas se disponen igualmente en dos grupos muy bien definidos al igual que las grietas de cizalla, pero más verticalizadas.

Los diagramas de contorno para grietas de cizalla y el general para todo tipo de grietas, marcan una orientación del stress principal distensivo al Este-Noreste 082 grados y unos 039 grados al Norte-Noreste respectivamente.

Los trabajos realizados aproximadamente 250 m más al Norte, en el corte de la toma del Complejo Hidráulico San Juan (Aguado, N., et al., 1998) ofrecen la misma información, contrastando con los diagramas obtenidos por Cáceres (1997) en la porción Este de la zona de falla a partir de Lagunilla.

## CONCLUSIONES

- 1.- El sector de la zona de falla Pinar interceptado por el río San Juan, manifiesta un movimiento transcurrente siniestro, expresado por el desarrollo de pliegues vergentes que señalan el sentido del desplazamiento, en correspondencia con el que se ha descrito para el resto de la misma, pero con una orientación marcadamente Sur-Suroeste.
- 2.- Los datos estructurales obtenidos durante los trabajos de campo, entre los que se destacan: la presencia de pliegues de kink band normal, el desarrollo de sistemas de vetas de extensión y su orientación, y la verticalidad de los sistemas de grietas de cizalla y fallas, expresan el desarrollo de estas estructuras en un régimen distensivo.
- 3.- El diagrama de contorno general elaborado para el sector muestra una orientación del stress principal al Noreste 039 grados, bajo un régimen distensivo.
- 4.- La curvatura en la zona de falla Pinar, interpretada como una fractura de riedel principal de desplazamiento siniestro, crea las condiciones necesarias para el cambio de las condiciones transpresivas descritas desde Lagunilla hacia el Este (estructura en flor positiva), a condiciones transtensivas hacia el occidente (estructura en flor negativa). Otras observaciones estructurales y la orientación de los principales sistemas de fallas, argumentan sobre la existencia de una cuenca de pull apart en esta región.

## BIBLIOGRAFIA

- Aguado, N. y O. Fonticobas, 1998. Estudio Ingenierogeológico Obra de Toma Complejo Hidráulico San Juan. (Archivo Empresa de Investigaciones Aplicadas, Establecimiento No. 1, Pinar del Río): 21.





- Cáceres, D., 1997. Estructura Geológica y Pronóstico Preliminar para Metales Básicos + Barita en la Parte Central de las Alturas Pizarrosas del Sur. Pinar del Río. Tesis doctoral. (Universidad de Pinar del Río): 103.
- Cáceres, D., 1998. Diferentes fases deformacionales de la porción más meridional de la Sierra de los Órganos. Memoria I. Geología y Minería '98 (C. De la Habana): 89-92.
- Mann, P., M. Gordon, D. Cáceres y R. Flores, 1996. Cenozoic Tectonic history of the North America-Caribbean plate boundary in Western Cuba. Journal of Geophysical Research. 3.
- Martínez, D. Y R. Fernández de Lara, 1988. Informe de los trabajos del levantamiento geológico y búsqueda a escala 1: 50 000 de la parte central de la provincia de Pinar del Río. C.N.F.G. (Pinar del Río).
- Piotrowska, K., 1987. Las estructuras de nappes de la Sierra de los Organos. Contribución a la geología de Pinar del Río. Edit. científ. téc., (C. De la Habana): 85-15
- Sims, D., A. Ferril, A. Stamatakis, 1999. Roll of ductile décollement in the development of pull-apart basins: Experimental result and natural examples. Journal of Structural Geology. 21: 533-554.
- Twiss, J., Moores, E., 1992. Structural Geology. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data: 508.

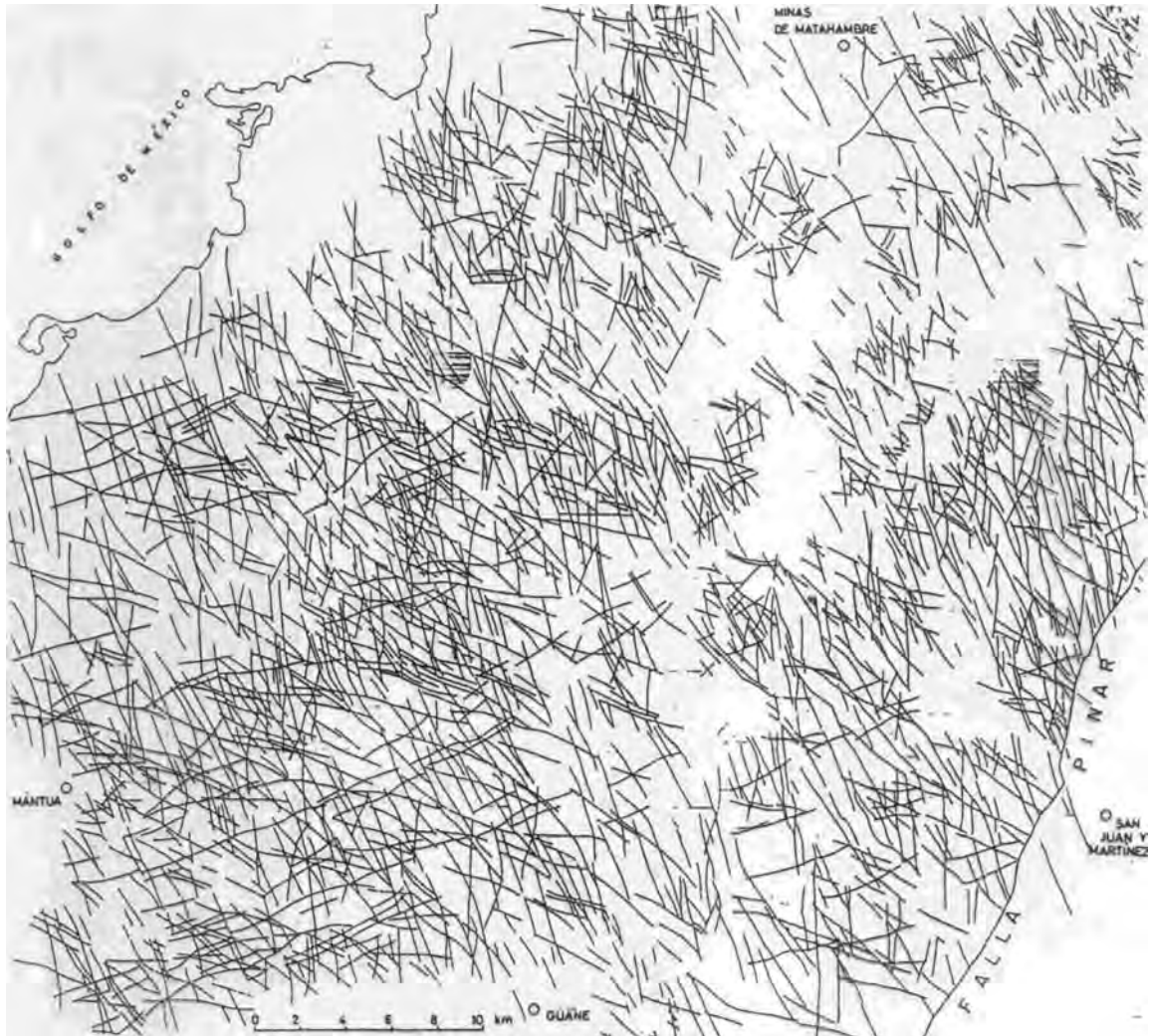
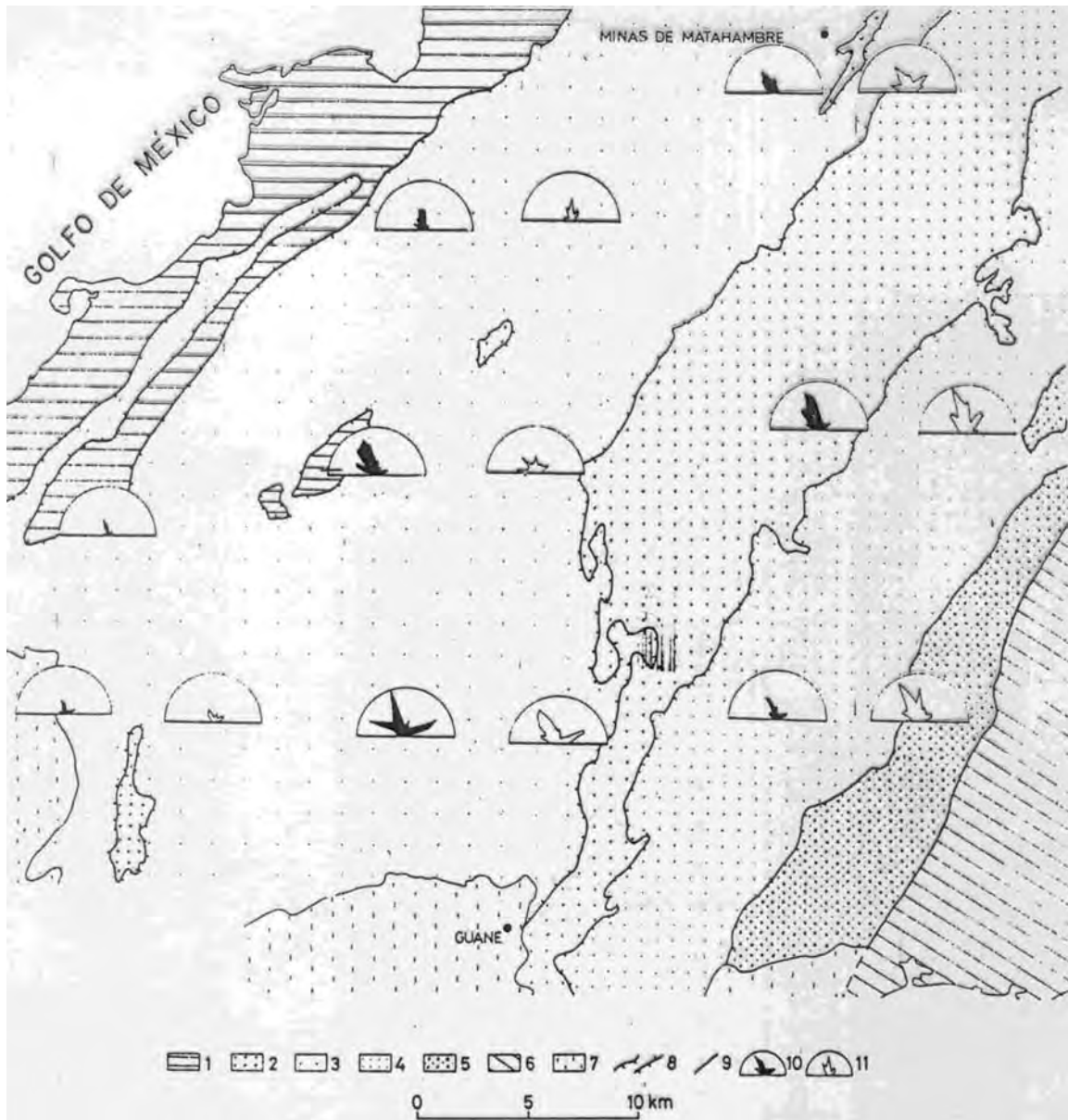


Figura 1- Red de fallas de Sierra de los Organos. El mapa fue realizado sobre la base de la interpretación de fotos aéreas. Tomado de Piotrowska, 1987.



**Figura 2- Croquis tectónico de la parte central y occidental de la Sierra de los Organos (con los diagramas de fallas).**

1- Zona estructuro-facial La Esperanza; zona estructuro-facial Guaniguanico – región Sierra de los Organos; 2- unidades calcáreas de la zona de mogotes; 3- unidades de Alturas de Pizarras del Norte; 4- unidades de Alturas de Pizarras del Sur; 5- unidades metamorfizadas; 6- zona estructuro-facial San Diego de los Baños; 7- Neógeno – Cuaternario; 8- limite de las zonas estructuro-faciales y entre conjuntos de unidades; 9- falla Pinar; 10- diagramas de fallas observadas en el terreno; 11- diagramas de las fallas interpretadas por fotos aéreas; los diagramas de las fallas fueron presentados a escala 1: 50 000, antes de ser disminuida. En ellos se reflejó la longitud total de las fallas en las divisiones de 10 grados. Tomado de Piotrowska, 1987.





## PALEOGENIC VOLCANIC ROCKS IN NORTHERN CAMAGÜEY?... GEOPHYSICAL CRITERIA

Roberto Sánchez Cruz(1), Noel Petrus Marcos(1), Eric M. Escobar Pérez(2), Jesús Moreira Martínez(1), Antonio Oviedo Balbín(3)

(1) Instituto de Geología y Paleontología

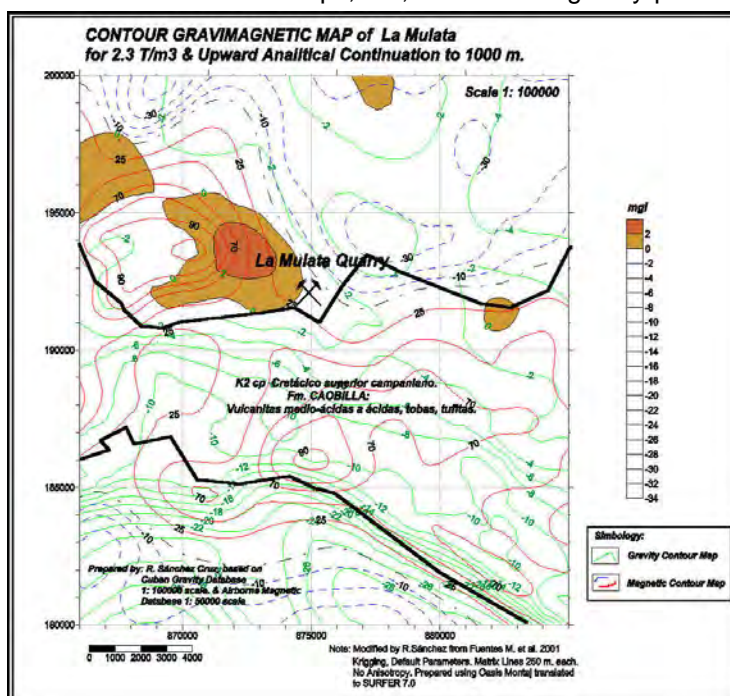
(2) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas

(3) TECNOMATICA

The age of Cretaceous Volcanic Arc(CVA) rocks in Camagüey, so far the only source of volcanic and minerals in the area, had been studied for years in order to explain mineral potential and the geological evolution of the region.

La Mulata volcanic rocks (15 Km southwest of Nuevitas) had been interpreted in different ways, all of them inside the CVA. In Kesler's last Ar-Ar radiometric study, where were found the geophysical evidences about its features that we are related with today, they were considered as a post arc unit (52 My age, early Eocene, the second, after the La Sierra rhyolites), formed for columnar andesite basalt rocks, questioning the last campanian-maastrichtian age assigned to overlying sediments over basalts.

Geophysical maps show a strong gravi-magnetic anomaly around 3-4Km. from the north-western side of La Mulata quarry, beside the northern flank of Caobilla's formation outcrops and below the extension of Durán and Maraguán formations, both of them with pebbles conglomerates with volcanic fragments inside them: not magnetic or dense rocks. Both anomalies have a deep source of field and almost identical features, proving the existence there of a big magnetic and dense object related to a magmato-volcanic event: la Mulata basalts... Have Caobilla volcanic rocks, theoretically by composition the only possible **source of potential fields**, some relationship with these anomalies?... Perhaps, but, the chain of gravity positive anomalies (over than 0 mgal.) along



the northern limit of Caobilla outcrops, would indicate, that these magmata have nothing to do with Caobilla's formation age and indicate another anomaly chains related to another magmatogenetic event: ...the Paleogenic Volcanic Arc in Camagüey. The Euler's deconvolution map for Ta(Reduced to Pole) for the Pipe Model, show a source of magnetic field from -3000 m. depth, around 3 Km. north-west side of La Mulata quarry. The perspectives for mining that are implicit in this conclusion are very important as well.

**Overlay of Magnetic (Pole Reduction) and Gravity (2.3Kg/m3) maps.**

The upper parts of La Mulata volcanic rocks, can be observed, marked with M & G (M for Magnetic Anomaly and G for Gravity Anomaly).



## CONSTITUCIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA DE FARALLONES SOBRE LA BASE DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA A ESCALA 1:25 000.

**Yumisleidys Sánchez Sánchez y Rafael Cirión Monté**

*Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", S/N Las Coloradas, Moa, Holguín, E-mail: yumy\_83@yahoo.com*

*Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", S/N Las Coloradas, Moa, Holguín, E-mail: rcirion@ismm.edu.cu*

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental elaborar el mapa geológico del área de Farallones a escala 1:25 000 con vistas a esclarecer la constitución geológica de esa zona y valorar las implicaciones en la geología regional de Cuba Oriental.

Se emplearon métodos de cartografía geológica combinados con la fotointerpretación y los métodos de procesamiento de la información geológica. Los materiales utilizados fueron la brújula, HCl, la piqueta, marcadores y cartas topográficas.

Identificándose los principales elementos de la estructura geológica cubana, el substrato plegado y la cobertura sedimentaria, demostramos que la geología del área resulta ser más compleja con la presencia de diversas formaciones geológicas y la ausencia de otras preliminarmente descritas, contribuyendo modestamente al incremento del estudio geológico de la región.

### ABSTRACT

The present work has as fundamental objective to elaborate the geologic map from the area of Headlands to scale 1:25 000 with a view to clarify the geologic constitution of that area and to value the implications in the regional geology of Oriental Cuba.

Methods of cartography geologic cocktails were used with the photo interpretation and the methods of prosecution of the geologic information. The used materials were the compass, HCl, the pickax, markers and topographical letters.

Being identified the main elements of the Cuban geologic structure, the folded substratum and the sedimentary covering, we demonstrate that the geology of the area turns out preliminarily to be more complex with the presence of diverse geologic formations and the absence of other described, contributing modestly to the increment of the geologic study of the region.

### INTRODUCCIÓN

Partiendo de la idea que la isla de Cuba se ha caracterizado geológicamente como un cinturón plegado que se encuentra acrecionado a la plataforma de Bahamas, la misma está constituida por cuencas superpuestas al basamento plegado. Estas características se reflejan en el área objeto de estudio ubicado en el poblado de Farallones, perteneciente al municipio de Moa, enclavado dentro de los sistemas montañosos Sierras de Nipe-Cristal-Baracoa y las Cuchillas de Moa.



El objetivo del presente trabajo es elaborar el mapa geológico del área de Farallones a escala 1:25 000 con vistas a esclarecer la constitución geológica de esa zona, así como, una contribución a las características geológicas de un sector del Bloque Oriental Cubano, debido a la insuficiencia en los estudios realizados en dicha área.

El trabajo se realizó en tres etapas: la etapa preparatoria, el trabajo de campo y el de gabinete. Pudimos caracterizar mediante la identificación e interpretación de los procesos y fenómenos geológicos, al área.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo realizamos la cartografía geológica, auxiliándonos del levantamiento geológico efectuado del 5 al 23 de abril del 2004 como herramienta fundamental. Además, se emplearon los métodos de fotointerpretación geológica, así como de aquellos de procesamiento de la información geológica.

Los puntos cartografiados fueron recogidos y caracterizados en una base topográfica, los cuales fueron procesados utilizando las nuevas tecnologías de la información; programas como el Surfer 8, el AutoCad Map 2000 y el MapInfo 6.5, logrando obtener el objetivo principal del trabajo.

Desarrollamos 13 marchas rutas en total, en los que se documentaron los puntos cada 250 m aproximadamente, dirigidos a determinar los contactos entre las principales unidades geológicas presentes en dicha área, enfatizando en las pertenecientes a la Asociación Ofiolítica y al Arco Volcánico del Cretácico.

Utilizamos materiales como la brújula, HCl, la piqueta, marcadores, la base topográfica con la que se trabajó fue a escala 1:25 000 y las hojas topográficas utilizadas fueron:

- ✓ Los Farallones.
- ✓ Calentura del Medio.
- ✓ Jaguaní.
- ✓ Vega Grande.

## RESULTADOS

El principal resultado del presente trabajo es un mapa geológico de Farallones, acompañado de una columna geológica tentativa y dos perfiles. (Ver figuras 1, 2, 3 y 4)

## DISCUSIÓN

En nuestra investigación se pudo comprobar que en el área se encuentran rocas pertenecientes a los principales eventos geológicos por los que atravesó el Bloque Oriental Cubano, los que están estrechamente relacionados con la estructura geológica cubana (según Iturralde-Vinent, 1996). Resulta por tanto ser un área de estudio de complejidad geológica de gran representatividad.





A partir de las salidas al campo efectuadas, determinamos que en el área de Farallones se manifiestan los principales elementos de la estructura geológica cubana. El substrato plegado con unidades de naturaleza oceánica, como las ofiolitas septentrionales y el arco volcánico del Cretácico, a los que se superpone una cuenca postvolcánica paleocénica. De acuerdo con los fósiles reportados es una secuencia arcilloso carbonatada relacionada con volcánicos ofiolíticos, esta unidad oceánica presenta una edad más antigua que el Cenomaniano, y los cabalgamientos más jóvenes que el Turoniano (Rodríguez-Vega, comunicación personal). El neoautóctono se encuentra representado por rocas carbonatadas, terrígenas, etc.

Se manifestaron diferentes fenómenos y procesos geológicos asociados a formaciones rocosas específicas.

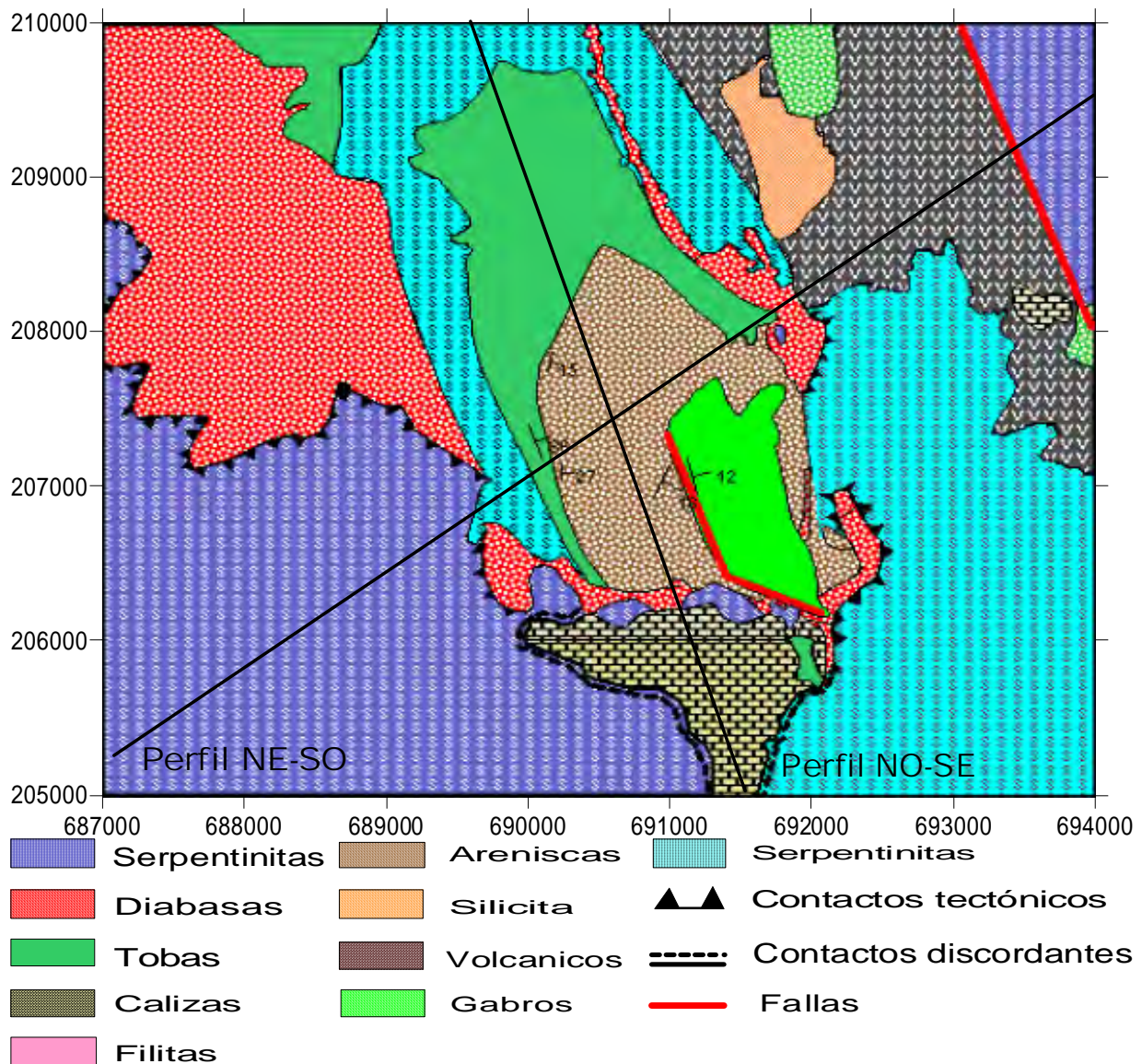


Figura 1. Mapa Geológico de Farallones con las direcciones de los perfiles.



Se realizaron innumerables marchas rutas en las principales arterias fluviales de la región, con la finalidad de determinar la relación de las diabasas y los gabros (determinamos que son ofiolíticos) conocida en la literatura geológica cubana como Complejo Cerrajón y establecer la relación que podría existir entre estas y las tectonitas correspondientes a la asociación ofiolítica.

En estudios anteriores se demostraba en los mapas geológicos a escala 1:500 000, 1:250 000, e incluso, 1:100 000 que en el área estudiada solamente se representan rocas volcánicas del Arco Cretácico. Sin embargo, con el desarrollo de los itinerarios determinamos que, el magmatismo está representado por las diabasas del Complejo Cerrajón del Arco Volcánico del Cretácico, gabros del complejo cumulativo y volcánicos de fondo oceánico; la actividad magmática del Paleógeno se manifiesta mediante el vulcanismo distal representado por la Fm. Sabaneta.

Determinamos que existe una discordancia entre el piso estructural inferior correspondiente al substrato plegado, representado por diabasas, filitas, volcánicos del Cretácico, silicitas, gabros ofiolíticos y serpentinitas; y el piso estructural superior, representado por calizas, areniscas y rocas vulcanógeno - sedimentarias, correspondientes a las formaciones Gran Tierra, Sabaneta, así como, miembros de las antes citadas, y la Fm. Sagua de Tánamo o Mucarál.

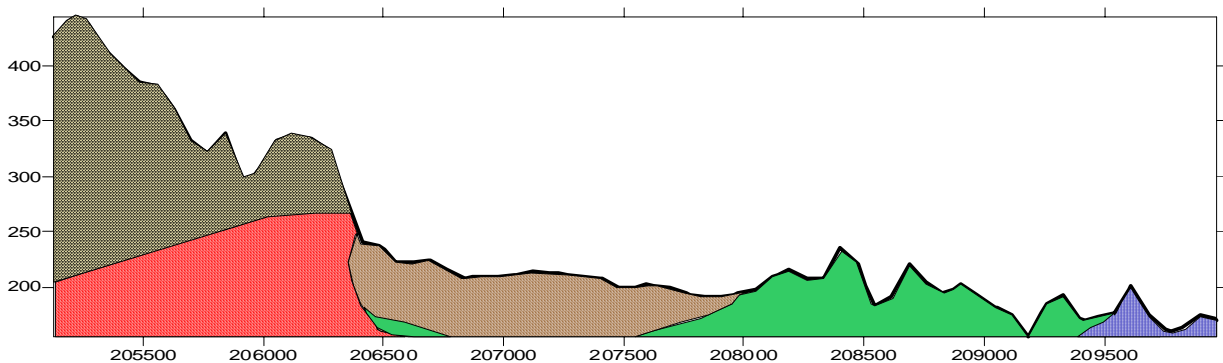


Figura 2. Perfil NW-SE.

Se pone de manifiesto metamorfismo de fondo oceánico, con la presencia de las rocas ultrabásicas serpentinizadas y rocas volcánicas espilitizadas. Se puede observar en los aluviones del río Moa una gran frecuencia de aparición de clastos de anfibolitas y esquistos anfibolíticos, cuya naturaleza aún no está totalmente esclarecida. Se observa la presencia de un gran desarrollo de las serpentinitas antigoríticas conjuntamente con esquistos talcosos y rocas fuertemente cloritizadas y con presencia de actinolita - tremolita. Las filitas calcáreas de la zona Calentura con un grado de metamorfismo sumamente bajo.

Finalmente, concluimos que la geología del área se caracteriza por la presencia de formaciones geológicas no descritas en el área hasta el momento. Esto se corrobora en el mapa geológico obtenido como resultado final de esta investigación, el cual se muestra en la Figura 1.

Según la caracterización hecha por un prestigioso colectivo de autores, publicada en el libro "Contribución a la geología de Cuba Oriental", determinamos cuales son las formaciones geológicas que se asocian con el sector. Consideramos que según las características que presentan las rocas asociadas al basamento, se corresponden con el denominado Complejo Cerrajón y con las ofiolitas septentrionales en forma de escamas tectónicas, constituyendo una vinculación con el arco del Cretácico y unidades de naturaleza oceánica respectivamente.

Caracterizando más tarde el piso estructural superior se forman una serie de cuencas superpuestas al substrato plegado. Estas cuencas son caracterizadas como cuencas sedimentarias postvolcánicas y transportadas (piggy back) que reinician el nivel estructural en Cuba del Neoaútóctono (Iturralde-Vinent; 1998). En ese tiempo se empezó a formar la cuenca de Farallones, en el Paleógeno, perteneciente a la época del Paleoceno Inferior (Daniense-66,4 m.a.). En ese momento comenzaron a precipitar los carbonatos, probablemente de un gran banco coralino, como para formar ese gran islote. Estas constituyeron las rocas más antiguas del segundo piso estructural, es decir, de la cobertura, formando parte de la conocida Fm. Gran Tierra. Después se sedimentan areniscas asociadas con un Miembro de la Fm. Gran Tierra. Entre el Paleoceno y el Eoceno (63.6-43.6 m.a.) comienza a formarse la Fm. Sabaneta, característica de las rocas vulcanógeno-sedimentarias; las cuales probablemente se formaron gracias a una fuente de suministro que se encontraba muy alejada de la cuenca. Por último, la Fm. Sagua de Tánamo en el Eoceno Superior caracterizó a las areniscas de edad más joven en dicha cuenca.

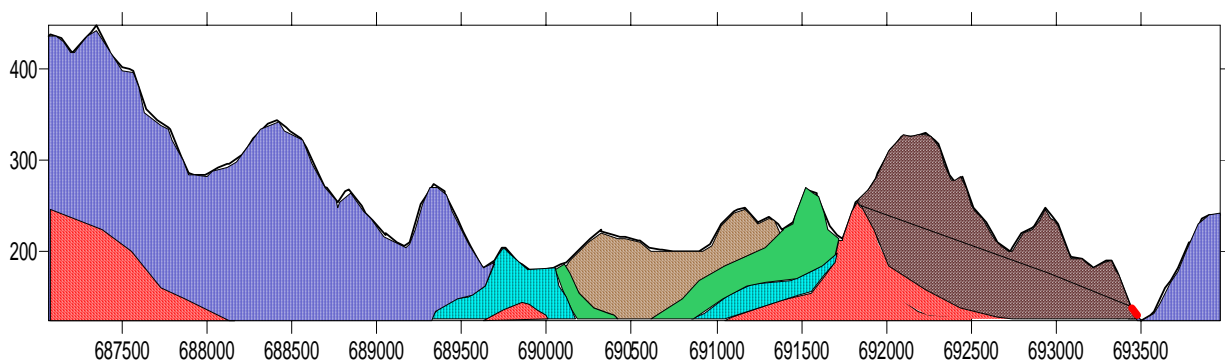


Figura 3. Perfil NE-SW (El perfil demuestra que a pesar de que las rocas de la Asociación Ofiolítica son más antiguas según su edad geológica, las mismas en el corte se encuentran por encima de las diabasas que constituyen al Complejo Cerrajón ya que las primeras se acrecionaron en forma de escamas por encima de las segundas).

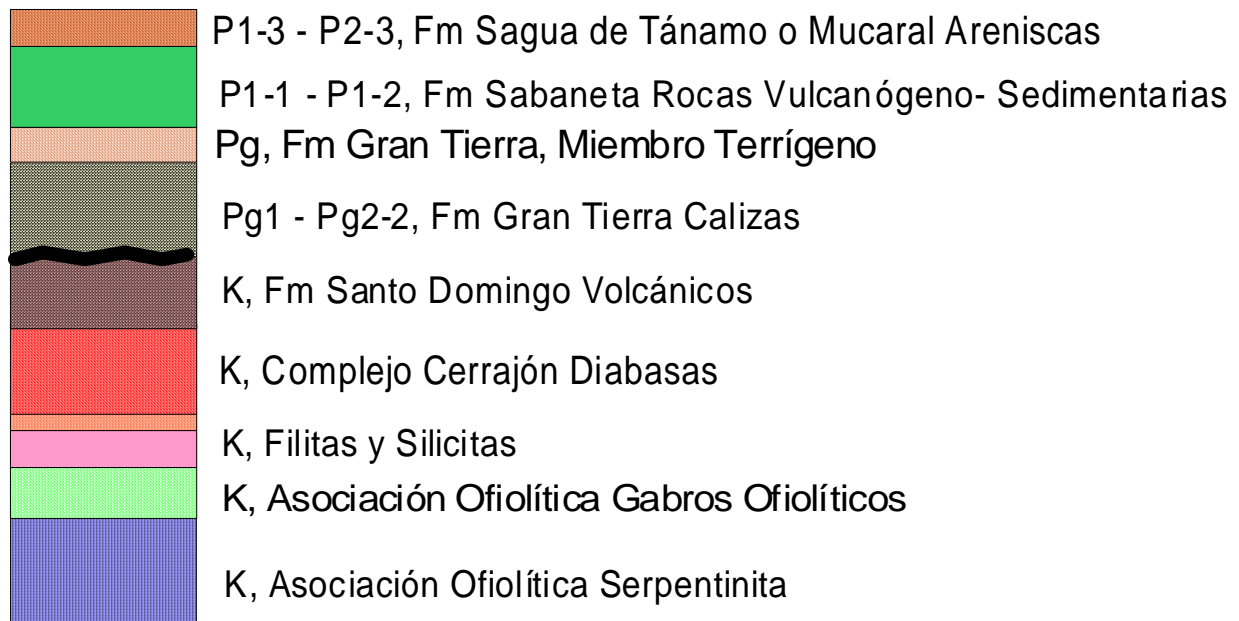


Figura 4. Columna Litológica-estratigráfica.(refleja la posición que ocupan las distintas litologías según su edad en el tiempo geológico).

## CONCLUSIONES

La cartografía geológica del área de Farallones a escala 1:25 000 contribuye modestamente al incremento del grado de conocimiento geológico de la región, por las siguientes razones:

- En los mapas geológicos a escala 1:500 000, 1:250 000, e incluso, 1:100 000 en el área estudiada solamente se representan rocas volcánicas del arco Cretácico lo cual está muy lejos de la realidad.
- Se demuestra que la geología del área es mucho más compleja con la presencia de diversas formaciones geológicas relacionadas tanto con el arco volcánico del Cretácico como con las ofiolitas, a las que se superponen formaciones de una cuenca superpuesta paleocénica con manifestación de los productos del vulcanismo distal del arco del Paleógeno.

## BIBLIOGRAFÍA

Colectivo de autores.1983. Contribución a la geología de Cuba Oriental. Cuba.  
Iturralde-Vinent, M. 1998. Synopsis de la Constitución Geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica. 33.



## SEISMIC STUDY OF THE SUBDUCTION TO STRIKE-SLIP TRANSITION OF THE NORTH AMERICAN-CARIBBEAN PLATE BOUNDARY IN THE DOMINICAN REPUBLIC

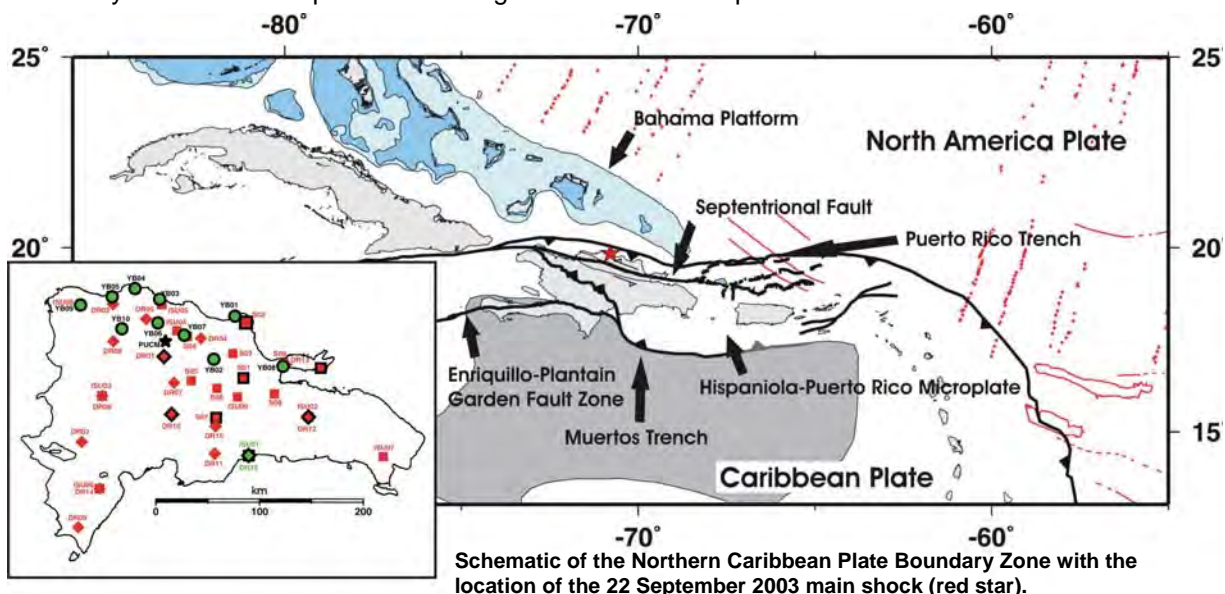
Jay Pulliam<sup>1</sup>, Víctor Huérfano<sup>1</sup>, Christa von Hillebrandt-Andrade<sup>1</sup>, Luis Odonel Gomez<sup>2</sup>, Juan Payero<sup>3</sup>, Ivelisse Camacho<sup>1</sup>

- (1) Red Sísmica de Puerto Rico, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR 00680, USA, [jay@ig.utexas.edu](mailto:jay@ig.utexas.edu); [victor@midas.uprm.edu](mailto:victor@midas.uprm.edu); [christa@midas.uprm.edu](mailto:christa@midas.uprm.edu)  
(2) Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, República Dominicana; [lgomez@verizon.net.do](mailto:lgomez@verizon.net.do)  
(3) Instituto Sismológico Universitario de la Universidad Autónoma Santo Domingo, Ciudad Universitaria, Apto. Postal 1335, Santo Domingo, República Dominicana; [jpayero@tricom.net](mailto:jpayero@tricom.net)

The Northern Caribbean Plate Boundary Zone (NCPBZ) is a complex region that has been modified extensively by the relative westward movement of the Caribbean Plate and the plate's impact with the buoyant Bahama carbonate platform (see Figure). The results include extensive subduction of oceanic crust belonging to the North American Plate, a broad zone of deformation to accommodate strain, the development of several new transform and normal faults to relieve stress after collisions, the formation and rotation of microplates, and the rearrangement and aggregation of crustal fragments into new islands.

On 22 September 2003, a large ( $m_b=6.5$ ) earthquake struck the Dominican Republic, causing widespread damage that included partially collapsed buildings and bridges in the cities of Santiago and Puerto Plata and landslides in the mountainous outlying areas. Aftershocks reaching  $m_b=5.1$  followed for weeks afterward. This earthquake sequence is the strongest to affect the Dominican Republic since a series of powerful thrust events, including five earthquakes ranging in magnitude from 7.1 to 8.1, occurred between 1943 and 1953. Prior to 1943, significant earthquakes occurred in 1564 (in which the city of Santiago was destroyed), 1783, 1842, 1887, and 1897.

Following the earthquake last year we deployed 10 broadband seismographs around the aftershock zone for a period of two months and analyzed the data jointly with data from two permanent seismic networks in the DR. Analyses included locating more than 200 aftershocks, producing a 3D tomographic model of the fault zone from phase arrivals, and computing focal mechanisms. We will report on the results of these analyses and their implications for regional structure and processes and seismic hazard.



(inset) Map of currently and recently operating seismic stations in the Dominican Republic. The symbol indicates the station's network affiliation: ISU stations are S1-10 and ISU01-10; INDRHI stations are DR01-16; PRSN/UT temporary stations are YB01-10. The star is a broadband station at PUCMM in Santiago. Symbol color indicates the sensor's passband: red = short-period, green = intermediate-period, black = broadband. Black outlines indicate three-component sensors.



## ESTRUCTURA PROFUNDA DEL OCCIDENTE CUBANO. IMPLICACIONES EN LA PROSPECCIÓN DE HIROCARBUROS, A PARTIR DE SIMILITUDES CON LA UTE PLACETAS EN CUBA CENTRAL

**Carlos E. Cofiño Arada<sup>(1)</sup>, Dámaso Cáceres Govea<sup>(1)</sup>, René Fernández de Lara Arias<sup>(2)</sup>.**

(1) Dpto. Geología, Universidad de P. del Río. Martí # 270 final Pinar del Río Cuba. Telf 779656  
[cenriques@geo.upr.edu.cu](mailto:cenriques@geo.upr.edu.cu).

(2) Empresa Geominera Pinar del Río. Martí # 141 e/ Ciprian Valdés y Colón Pinar del Río Cuba Telf 752817.

### Resumen:

La subzona Sierra del Rosario constituye parte del Cinturón Plegado y Cabalgado Guaniguanico, se localiza principalmente en la provincia de Pinar del Río y se extiende hasta los límites con la provincia Habana. Su posición actual es el resultado de los movimientos que afectaron el margen continental y provocaron que zonas que se encontraban mucho más al sur, hoy ocupen las partes más septentrionales del Cinturón Plegado y Cabalgado Guaniguanico.

La estructura profunda de la parte que corresponde a subzona Sierra del Rosario y zonas contiguas se explica a partir de la modelación gravimétrica y la interpretación de datos estructurales aportados por los autores.

La UTE Placetatas ocupa actualmente un sector en la parte centro - septentrional de Cuba aflorando en forma de bandas casi paralelas, desde las cercanías de la región Habana-Matanzas, hasta la Sierra de Jatibonico en la provincia de Camagüey.

A ambas zonas (Sierra del Rosario y Zona Placetatas) le corresponden los cortes más internos del margen continental cubano, caracterizados por la presencia de rocas carbonatadas y terrígeno - carbonatadas, así como gran abundancia de rocas silíceo-arcillosas y silicitas en el intervalo Cretácico. Por otra parte, la posición estructural actual de las distintas unidades en la parte occidental y central de Cuba, se explican, a partir de los desplazamientos ocurridos a través de la falla Pinar. Las secuencias situadas al sur de la falla, según un movimiento transcurrente siniestro, determinado en distintas estructuras mapeadas e interpretadas relacionadas con la falla Pinar.

La posición estructural de esta secuencia (Sub zona Sierra del Rosario) y la similitud de sus características litoestratigráficas con las secuencias que se desarrollan en Cuba Central (UTE Placetatas), se considera imprescindible destacar sus implicaciones que pudiese tener en la prospección de hidrocarburos en el occidente de Cuba.

### Abstract:

Sierra del Rosario sub zone is part of the Guaniguanico overthrust fold belt. It strikes from Pinar del Rio province until La Havana province border. The current position of Sierra del Rosario is interpreted as a result of movements that affected the continental margin and caused that different areas were brought together, far away from their original position, much more to the south. It explains why, Sierra del Rosario, outcrops today, to the northern part of Guaniguanico fold belt.

The deep structure of this zone and neighboring areas is explained on the basis of gravimetric studies and the interpretation contributed by the authors.

The tectonic stratigraphic unit (UTE) Placetatas outcrop in center central Cuba as narrow bands, from the proximities of Havana-Matanzas until Sierra de Jatibonico in Camagüey province.

Both, Sierra del Rosario and Placetatas zones are the deepest sequences in the Cuban continental margin. They exhibit layers of carbonated, terrigenous-carbonated as well as siliceous and clayed rocks of Cretacic age. From our point of view, both units could be explained as a result of the displacements occurred along Pinar fault, while the sequences to the south were related to sinistral movements, as shown by the mapping of structures related to Pinar fault.

**Key words:** Tectonic, Deep structure, fold belt





## INTRODUCCIÓN:

El Cinturón Plegado y Cabalgado Guaniguanico del cual forma parte la subzona Sierra del Rosario se desarrolla principalmente en la provincia de Pinar del Río y se extiende hasta los límites con la provincia Habana. El límite meridional de esta unidad tectonoestatigráfica lo constituye la zona de falla Pinar, mientras el límite septentrional lo constituye el contacto tectónico con el terreno Zaza (subzona Bahía Honda). Hacia el este los depósitos del Rosario están cubiertos por secuencias de la Formación Capdevila y al oeste limita con el sureste del Golfo de México.

Su posición actual es el resultado de los movimientos que afectaron el margen continental y provocaron que zonas que se encontraban mucho más al sur, hoy ocupen las partes más septentrionales del Cinturón Plegado y Cabalgado Guaniguanico (Fig. 1.1).

La estructura profunda de Sierra del Rosario y su similitud con unidades que se desarrollan en Cuba central se explican a partir interpretación de datos magnéticos y gravimétricos así como la determinación de estructuras que explican el movimiento de estructuras tales como falla Pinar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

A partir de la estructura profunda de la parte que corresponde a subzona El Rosario y zonas contiguas representado en el corte por la línea II' (Fig. 1.2), el Cinturón Plegado y Cabalgado Guaniguanico (subzona El Rosario) según la modelación gravimétrica presenta 3 horizontes principales (Fernández de Lara et al., 2002). El primero con un espesor de 4-5 km asociado a la cobertura continental alóctona, presenta una densidad general calculada disminuida en aproximadamente un 5% con respecto a la densidad medida para estas rocas. Esta disminución se debe a los efectos fisurales regionales provocados por el grado de tectonismo a que han sido sometidas estas secuencias, así también como al desarrollo de los procesos cársicos en las formaciones carbonatadas, dando lugar a una porosidad regional.

El segundo horizonte de aproximadamente 2,5 km de espesor, representa la parte de la cobertura continental que fue menos afectada por los efectos tectónicos y que constituye la posible cobertura continental autóctona. La densidad utilizada para esta capa en el modelaje gravimétrico es la medida en los estudios petrofísicos regionales (Martínez et al., 1991) (Fig. 1.2).

El tercer horizonte se asocia a la corteza continental cuyo tope superior yace en el orden de 7-8 km. La densidad utilizada corresponde a datos de literatura (Reynolds, 1997) (Fig. 1.2).

En general el ascenso relativo de la subzona El Rosario puede llegar a 2,5 km. Esta apreciación se puede determinar en los datos aportados por la corteza continental a ambos lados de la zona de falla (Fig. 1.2).

La subzona Bahía Honda, como parte del Terreno Zaza se emplaza de forma alóctona sobre la porción norte de la subzona El Rosario (Fernández de Lara et al., 2002). La característica estructural principal está dada por la presencia de dos grandes frentes de sobrecorrimiento extendidos en dirección latitudinal, bien caracterizados por el campo gravimétrico y aeromagnético, estando la más meridional unida al macizo Cajalbana acorde a la modelación gravimétrica. Entre estas dos estructuras aparece una depresión en el techo del complejo ofiolítico relleno por secuencias sinorogénicas y postorogénicas con potencia máxima hasta 2 km.



El complejo ofiolítico se puede dividir según esta modelación en la cobertura vulcanógeno - sedimentaria (Formación Encrucijada) con densidad determinada durante los trabajos de levantamientos en el área (Martínez et al., 1991) y con potencia máxima de 1 km, y el complejo cumulativo (Martínez et al., 1991) que presenta espesores entre 2 y 4 km. A la profundidad de 4-5 km comienza la cobertura continental que presenta una potencia de aproximadamente 3 km, seguida por la cobertura continental alóctona con similar dimensión.

El techo de la corteza continental yace a profundidades del orden de los 10 km. La densidad utilizada corresponde a datos de literatura (Reynolds, 1997).

La continuación hacia el este de los depósitos tipo Rosario ha sido tratada por distintos autores, que interpretan el bloque Martín Mesa como una ventana de erosión.

Algunos investigadores han planteado con anterioridad la similitud del Rosario con la Zona Placetas en Cuba Central (Pszczolkowski, 1994, Cobiella Reguera, 2000). La posición estructural actual de las distintas unidades en la parte central de Cuba, se explica, a través de la falla Pinar se producen los desplazamientos de las secuencias situadas al sur de ésta, hacia el noreste, según un movimiento transcurrente siniestro.

A la UTE Placetas le corresponden los cortes más internos del margen continental cubano, caracterizados por la presencia de rocas carbonatadas y terrígeno - carbonatadas, así como gran abundancia de rocas silíceo-arcillosas y silicitas en el intervalo Cretácico. Por otra parte, la estructura tectónica se presenta compleja, con pliegues, muchas repeticiones por fallas de bajo ángulo y amplio desarrollo de melange caótico.

Los sedimentos que componen esta unidad, al igual que los de la UTE Camajuaní afloran en forma de bandas casi paralelas en la región centro-septentrional de la Isla, desde las cercanías de la región Habana-Matanzas, hasta la Sierra de Jatibonico en la provincia de Camagüey. Igualmente se han encontrado por perforaciones profundas desde el área de Guanabo a lo largo de toda la franja mencionada, sin interrupción (Valladares et al., 1997).

En el subsuelo se evidencia la presencia de varios mantos superpuestos, repitiendo el corte, donde las capas buzcan con ángulos de 40-60° como promedio, aunque también llegan a verticales en los frentes de los mantos y sub-horizontales en las bóvedas de las estructuras.

Resulta de interés el trabajo de Sánchez Arango en Valladares et al. (1997), donde considera conveniente reconocer cuatro secuencias estratigráficas, que se diferencian tanto por estudios de superficie como por perforaciones profundas: Cifuentes, Rancho Veloz, Jarahueca y Sierra de Camaján, las que pueden ser comparadas con las distintas secuencias que se desarrollan en las diferentes unidades de mantos descritos por Pszczolkowski (Pszczolkowski, 1976, 1999), donde a cada unidad de mantos le pertenecen secuencias litoestratigráficas diferentes.

La edad de los sedimentos de estas secuencias que conforman la UTE Placetas, abarcan desde el Oxfordiano-Kimmerigiano hasta el Turoniano, cubiertos discordantemente por las rocas del Cretácico tardío-Paleógeno, que corresponden a sedimentos sinorogénicos.

Es de destacar la posición similar de la subzona El Rosario, a cuyas secuencias también le corresponden los cortes más internos del margen continental cubano (según el esquema propuesto), que se caracterizan por la presencia de rocas carbonatadas y terrígeno-carbonatadas, con gran abundancia de rocas silíceo-arcillosas y silicitas hacia las partes inferiores del Cretácico.



Los sedimentos que componen esta subzona (Rosario Norte y Rosario Sur), afloran en forma de bandas casi paralelas en la región, ocupando toda la parte centro-septentrional de la provincia de Pinar del Río, desde las cercanías de La Habana, donde también se encuentran cubiertas por mantos cabalgados que conforman el Terreno Zaza (subzona Bahía Honda) hasta el extremo más occidental, donde afloran rocas del margen continental cubano (Martínez et al., 1987).

A partir de la subdivisión de la región en sectores con diferente desarrollo geológico (Zona Coco, Cinturón Plegado y Cabalgado Guaniguanico y Terreno Zaza) y con los datos de que se dispone, se realiza una interpretación de los mismos y se ubica tentativamente la posición aproximada de estos sectores antes y posterior a la ocurrencia del fenómeno de la colisión (Fig. 1.1).

La edad de la colisión (Paleoceno Superior – Eoceno Inferior), además Bralower e Iturralde-Vinent (1997), realizan una datación que precisa el momento de la colisión entre Norteamérica y la placa de las Antillas Mayores.

Por la posición estructural de esta secuencia (El Rosario) y por la similitud de sus características litoestratigráficas con las secuencias que se desarrollan en Cuba Central (Cobiella Reguera et al., 2000), donde se incluye la unidad tectonoestratigráfica Placetas, se considera imprescindible destacar su importancia para prospección de hidrocarburos.

En el perfil por la línea II', como se planteó al inicio de este acápite (Fig. 1.2), realizado sobre la base de los resultados de los trabajos gravimétricos y magnéticos del área, se han determinado la posición, los límites y espesores en profundidad de las distintas unidades que se desarrollan en la región.

Del análisis de todo lo anterior y según lo planteado en el perfil esquemático propuesto por Iturralde-Vinent en (Bralower e Iturralde-Vinent, 1997), resulta aún más perspectiva la región para la prospección de hidrocarburos por la presencia de rocas de la subzona El Rosario subyaciendo las rocas de la subzona Bahía Honda. Puede valorarse además la posibilidad de encontrar yacimientos en las propias rocas de la subzona Bahía Honda, derivados de la posible migración de los hidrocarburos hacia las partes superiores del corte en su camino desde las profundidades.

## CONCLUSIONES:

1. Se determinó una estructura en forma de horst para la parte centro - oriental de la provincia de Pinar del Río como se presenta en el perfil por la Línea I I' de la Fig 1.2, originadas por dos estructuras (falla Pinar y falla Bahía Honda) que han tenido una similar evolución en el tiempo y formadas en el mismo momento debido a la desviación hacia el este del stress principal.
2. La estructura interna del corte en Sierra del Rosario la conforman tres potentes horizontes distribuidos en profundidad por:
  - Horizonte 1 Sierra del Rosario.
  - Horizonte 2 Sierra de los Organos.
  - Horizonte 3 Corteza continental.
3. Las similitudes demostradas entre las subzona Sierra del Rosario y UTE Placetas incrementa las potencialidades de hidrocarburos en la parte occidental del territorio cubano, además de quedar demostrado que todo el banco carbonatado (constituido por rocas de las



subzonas El Rosario y Los Órganos), subyace las rocas de la subzona Bahía Honda. Es posible además localizar yacimientos en las propias rocas de la subzona Bahía Honda, derivados de la posible migración de los hidrocarburos hacia las partes superiores del corte.

## BIBLIOGRAFÍA:

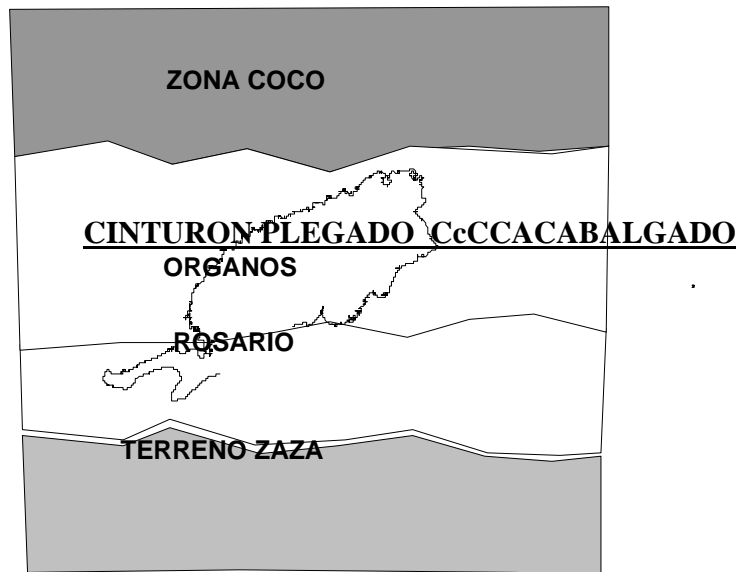
- Cáceres, D., 1997. Estructura Geológica y Pronóstico Preliminar para metales básicos + Barita en la parte central de las Alturas Pizarrosas del Sur (tesis doctoral). Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río.
- Cobiella Reguera, J.L., 1998. Melanges de la Sierra del Rosario, Cuba occidental. Tipos e implicaciones regionales. *Minería y Geología* Vol. XV, (2): 3-10.
- Cobiella Reguera, J.L., Gil González, S., Hernández Escobar, A., Díaz Díaz, N., 2000. Estratigrafía y Tectónica de la Sierra del Rosario, Cordillera de Guaniguanico, Cuba Occidental. *Minería y Geología* Vol. XVII, (1): 5-15.
- Cobiella Reguera, J.L., 2000. Jurassic and Cretaceous Geological History of Cuba. *International Geology Review*. Nº 7: 594.
- Cofiño Arada, C.E., Cáceres, D., 2002.. Particularidades estructurales y determinación del stress principal a partir de la información de un perfil en la parte oriental de la Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba. *Minería y Geología* N 1 del Vol. XIX.
- Cofiño Arada, C.E., Cáceres, D., 2002. Efectividad de la utilización de los métodos microtectónicos en el desciframiento de la evolución de estructuras tectónicas (Falla Pinar). *Minería y Geología* N 2 del Vol. XIX.
- Fernández de Lara, R., 1995. Esquema estructural de la parte central de Cuba occidental (Inédito).
- Fernández de Lara, R., Fajardo López, S., 2002. Contribución de la Información Geofísica a la constitución geológica de la provincia de Pinar del Río en apoyo a modelos regionales de prospección. *Memorias del II Congreso Cubano de Geofísica*. Ciudad de La Habana.
- Gordon, M, Mann, P., Cáceres, D., et al., 1997. Cenozoic tectonic history of the North American - Caribbean plate boundary zone in western Cuba. *Journal of Geophysical Research* Vol. 102: 10055-10082.
- Iturralde-Vinent, M.A., 1996. Introduction to Cuban geology and tectonics. In: Iturralde-Vinent, M.A. (Editor), *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba (Cuban ophiolites and volcanics arcs)*. IUGS/UNESCO Project 364, Contrib. 1, 3-35.
- Martínez, D., Vázquez, M, 1987. Alturas Pizarrosas del Norte, extremo occidental de la subzona "Sierra del Rosario". En: *Memorias del III Encuentro Científico-técnico de Geología en Pinar del Río*. Soc. Cubana de Geología, pp. 57-71.
- Martínez, D., 1987. Algunas consideraciones acerca de la tectónica en la provincia de Pinar del Río. *Bol. Geociencia*.
- Martínez, D., Vázquez, M, Chang, J.C., Denis, R., Fernández, O., Fernández de Lara, R., Barrios, E., Peláez, R., 1991. Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y prospección a escala 1: 50 000 Pinar – Habana. MINBAS. E.G.M Pinar del Río.
- López Rivera, J.G., G., Tenreiro, R., López, J.O., Navarrete, L.E., Valladares, S., Álvarez Castro, 1997. Escenarios y Sistemas petroleros para la exploración en Cuba. CEINPET. MINBAS. Ciudad de la Habana.
- López Rivera, J.G., López Quintero, J.O., Fernández Carmona, J., Hernández, V., Sosa Meisozo, C., Blanco, M, Delgado, O., Hernández León, J., 1998. Actualización del potencial de petróleo y gas de Cuba Occidental. CEINPET. MINBAS. Ciudad de la Habana.
- Pszczolkowski, A., 1976. Nappe structure of Sierra del Rosario (Cuba). *Bult. Acad. Polon. Sci., Sér. Sci. Terre*, 24 (3-4): 205-215.



- Pszczolkowski, A., 1994. Interrelationship of the terranes in western and central Cuba. *Comment. Tectonophysics*, 234: 339-344.
- Pszczolkowski, A., 1999. The Exposed Margin of North America in Western Cuba. *Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World*, 4 edited by P. Mann (Series Editor. K. J. Hsu, pp 93 – 121.
- Reynold, JM, 1997. *An Introduction to applied and enviromental Geophysics*. Editorial Jhon Wiley and son LTD.
- Valladares, S., Sánchez Arango, J., López Rivera, J.G., López Quintero, J.O., Fernández Carmona J., Fernández Rodríguez, G., Linares, E., 1997. Reservorios carbonatados pertenecientes a la UTE Placetas. *Archivo CEINPET*. Ciudad de la Habana.



a-



b

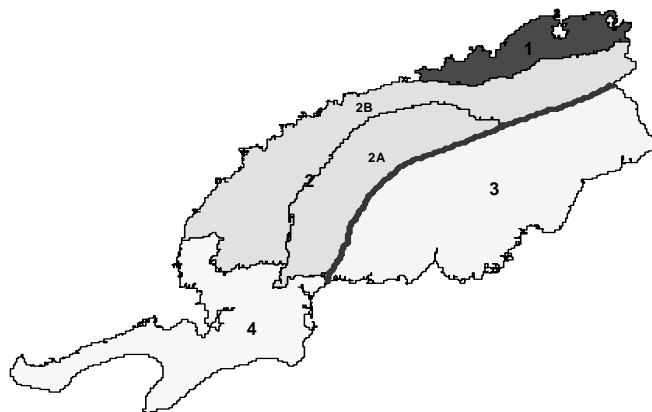
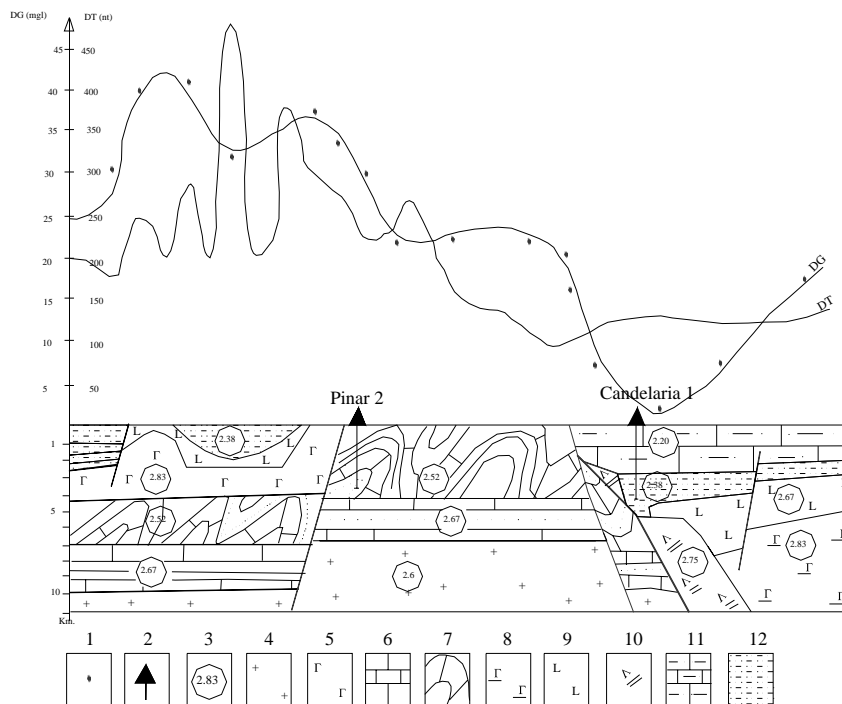


Figura 1.1. Ubicación de las distintas regiones en su posición original y después de los movimientos compresivos. a- Antes de los movimientos compresivos, b- Después de los movimientos compresivos (1- Terreno Zaza (subzona Bahía Honda), 2- Cinturón Plegado y Cabalgado Guaniguanico (2A Órganos y 2B Rosario), 3- Terreno Zaza (Cuenca de los Palacios), 4- Sedimentos Neógenos - Cuaternarios que cubren rocas del Cinturón Guaniguanico).





1- Valor de DG calculado 2- Pozos profundos 3- Densidad (g/cm<sup>3</sup>) 4- Capa granítica  
5- Complejo cumulativo aloctono 6- Cobertura continental aloctona 8- Complejo cumulativo  
autoctono 9- Cobertura vulcanógeno sedimentaria de la corteza oceánica 10- Complejo  
cumulativo alterado 11- Sedimentos postorogénicos 12- Sedimentos sinorogénicos

Figura 1.2. Perfil por la Línea I - I basado en la Modelación Gravimétrica.

# MAPA GEOLÓGICO DE LA PROVINCIA DE PINAR DEL RÍO A ESCALA 1: 100 000 EN BASE DIGITAL.

**Dora E. García Delgado, Santa Gil González <sup>(1)</sup>, Raisa Delgado Damas <sup>(1)</sup>, Guillermo Millán <sup>(1)</sup>, Luís Leandro Peñalver <sup>(1)</sup>, Miguel Cabrera Castellanos <sup>(1)</sup>, Roberto Denis <sup>(2)</sup>, Jorge Luís Chang <sup>(1)</sup>, Magalys Fuentes <sup>(1)</sup>, Consuelo Díaz Otero <sup>(1)</sup>, Valia Suarez <sup>(1)</sup>, Angélica Isabel Llanes <sup>(1)</sup>, Ramón Pérez Aragón <sup>(1)</sup>, Mercedes Torres <sup>(1)</sup>, Carlos Pérez Pérez <sup>(1)</sup>, Lilavatti Díaz de Villalvilla Carbó <sup>(1)</sup>**

*(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea de Ferrocarril, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana. Cuba, [igp@igp.minbas.cu](mailto:igp@igp.minbas.cu)*

*(2) Empresa Geominera de Pinar del Río.*

## RESUMEN

Este mapa se confeccionó mediante la generalización geológica en base digital de los mapas geológicos pretéritos de diferentes autores y escalas realizados en esta región. Para este objetivo se confeccionaron diversas bases de datos, paleontológicas, petroquímicas, geofísicas y sus mapas correspondientes. Además, se utilizó un complejo procesamiento de imágenes, fotointerpretación y comprobaciones de campo. Esta conformado por 16 hojas a escala 1: 100 000, acompañado de 2 perfiles regionales y su correspondiente leyenda zonal. Se presenta en 2 variantes, AUTOCAD MAP y en el Sistema de Información Geográfica CARIS.

El cinturón orogénico cubano en Pinar del Río, se divide en varias zonas o terrenos que son: la zona Guaniguanico, la zona Bahía Honda (ofiolitas de suprasubducción y elementos del arco volcánico cretácico, principalmente del retroarco); y la zona San Diego de los Baños. También forman parte de este cinturón depósitos de cuencas de antepaís y de piggy back.

El terreno Guaniguanico se separa en dos subzonas: Los Organos y Rosario. La primera está dividida en: el cinturón de mogotes y el manto tectónico Alturas de Pizarras del Sur que sobrecoorrió de sur a norte a la primera. La subzona Rosario se divide en tres unidades: Rosario Norte, Rosario Sur y la faja o cinturón Esperanza. Sobre este cinturón plegado se cartografían extensas áreas ocupadas por los depósitos neoplateformicos.

## ABSTRACT

This map was made by the geologic generalization in digital base of the past geologic maps of different authors and scales carried out in this region. For this objective diverse databases, paleontological, petrochemical, geophysical were made, and their corresponding maps. Also, it was used a complex prosecution of images, fotointerpretation and field confirmations. It is conformed by 16 sheets, in 1: 100 000 scale, accompanied by 2 regional profiles and their corresponding zonal legend. It is presented in 2 variants, AUTOCAD MAP and in the Geographical Information System CARIS.

The Cuban orogénic belt in Pinar del Río, is divided in several zone or terrain that are: The Guaniguanico zone, the Bahia Honda zone ( suprasubduction ofiolites and volcanics arc elements, mainly of a back arc) and San Diego de Los Baños zone. Also included in this belt there are foreland and piggy back basin sediments.

The Guaniguanico terrain was separate in two subzone: Los Organos and Rosario. The first one is divided in: the mogotes belt and the tectonic mantel Alturas de Pizarra del sur that overthrusthed from the south to north to the first one. The Rosario subzone is divided in three units: Rosario Norte, Rosario Sur and the Esperanza belt. On over this folded belt was mapped extense areas occupied by the neoplateformics deposits.

## **INTRODUCCIÓN**

La generalización y actualización geológica de la provincia de Pinar del Río a escala 1:100 000, constituyó una tarea difícil y compleja, no solo por las características geológicas de la región, sino por el gran volumen de información de mayor o menor calidad a diferentes escalas generado en los últimos 50 años disperso en diferentes instituciones, así como por la abundancia de trabajos temáticos y publicaciones sobre esta región.

Esta provincia ha sido cartografiada a escala 1:50 000 en casi su totalidad por autores procedentes principalmente de la antigua Unión Soviética, de la Academia de Ciencia de Polonia y por geólogos de la Empresa Geólogo-Minera de Occidente, los cuales volcaron en sus mapas diversas concepciones tectónicas, cartográficas, y estratigráficas, muy discutidas a lo largo de los años y que en ocasiones hizo casi imposible establecer una buena correlación entre las áreas de los polígonos adyacentes.

El objetivo fundamental de este proyecto lo constituyó el lograr un mapa geológico a escala 1:100 000, cartográfica y conceptualmente coherente, mediante la interpretación de los datos geológicos compilados bajo las más modernas concepciones geotectónicas y de la evolución geológica de Cuba y del Caribe.

La leyenda zonal permite observar la evolución geológica en cada una de las unidades geotectónicas del territorio, así como los distintos niveles estructurales y unidades litoestratigráficas que las constituyen y sus interrelaciones. Esta refleja las concepciones geológicas sobre las que se ha elaborado el mapa.

Como materiales acompañantes se ofrecen las bases de datos paleontológicos con sus mapas correspondientes para cada hoja a escala 1:100 000, la base de datos petroquímicos y las bases de datos geofísicos y sus mapas de interpretación compleja.

## **MATERIALES Y METODOS**

Se realizó un exhaustivo análisis de la información geólogo-geofísica existente, confeccionándose un resumen de su contenido y una columna estratigráfica esquemática de cada uno de los trabajos estudiados, ya que las unidades litoestratigráficas constituyen la unidad básica a cartografiar. A partir del análisis de todos los trabajos realizados en la región se seleccionaron aquellos que por la calidad de su cartografía, la escala, la conservación de los materiales primarios y su actualidad pudieran servir como mapas geológicos bases. También se tomaron en cuenta numerosos trabajos de carácter regional y publicaciones que contribuyeron al esclarecimiento de aspectos controvertidos de la zonación tectónica, estratigrafía, edad y relaciones entre diferentes unidades litoestratigráficas.

De cada uno de los trabajos, mapas o informes escogidos se extrajeron, en caso de que se conservaran todos los materiales primarios disponibles, resultados paleontológicos, análisis de petroquímica de las rocas magmáticas, descripciones petrográficas, confeccionándose bases de datos independientes, como la paleontológica y petroquímica. La primera para la posterior confección de los mapas de datos paleontológicos y la segunda para la caracterización de los diferentes complejos magmáticos presentes en la región.

Los mapas bases seleccionados se fotocopiaron y se llevaron mecánicamente a la escala de los trabajos, confeccionándose un mapa mosaico a escala 1:100 000, el cual puso de manifiesto las incongruencias entre los diferentes mapas geológicos, no solo de carácter cartográfico, sino también desde el punto de vista de sus concepciones teóricas.

Paralelamente se confeccionó una base de datos de los campos físicos para el procesamiento de los mapas de interpretación geofísica complejos que también formaron parte de los materiales del mapa. El paso próximo fue la digitalización de los materiales bases, y para tratar de preservar la exactitud cartográfica se realizaron las siguientes tareas:

- Se utilizaron hojas topográficas a escala 100 000, que fueron suministradas por GEOCUBA. Su finalidad era contar con una base única para la digitalización de los materiales primarios, de manera tal que para su edición existiera una correcta georeferenciación.
- Bases de datos paleontológicos y petroquímicas (Sistema ACCESS) y posterior confección de los mapas de datos paleontológicos en AUTOCAD por hojas topográficas a escala 1:100 000.
- Base de datos digital de los mapas geológicos seleccionados para la generalización (AUTOCAD) los cuales fueron editados de manera independiente.
- Se planificaron trabajos de campo a partir de los problemas detectados en el grado de estudio y el mapa mosaico, priorizándose las zonas de empalme entre los diferentes levantamientos y aquellas áreas con problemas cartográficos y geológicos en los mapas originales, así como de edad y relaciones entre diferentes unidades litoestratigráficas.
- Fotointerpretación y procesamiento de imágenes para la detección de estructuras tectónicas y paleovolcánicas, así como para fijar los límites entre diferentes cuerpos geológicos que no pudieron seguirse de uno a otro levantamiento. Esta fotointerpretación fue digitalizada sobre la misma base topográfica suministrada por GEOCUBA.
- Trabajos de generalización geofísica: propiedades físicas de las rocas (densidad y susceptibilidad magnética, campo gravimétrico, magnético y gammaespectrométrico).
- Se confeccionó un nuevo mapa de los depósitos cuaternarios como una tarea independiente, ya que existía una proliferación de unidades poco prácticas desde el punto de vista de la escala en que se estaba trabajando y muchas estaban en franca sinonimia.

Una etapa muy importante lo constituyeron los trabajos de campo, que aunque resultaron insuficientes, permitieron muestrear numerosas unidades estratigráficas y esclarecer algunos problemas de correlación de sus afloramientos entre los diferentes mapas, precisándose a veces sus edades con los estudios paleontológicos de las muestras tomadas.

El proceso de generalización y edición de los mapas se realizó mediante el sistema AUTOCAD 2000, utilizando la superposición de los diferentes materiales obtenidos a escala 1:100 000: mapas de datos paleontológicos, mapas de interpretación geofísica compleja procesados en GEOSOFT y pasados a AUTOCAD, mapas geológicos base, esquemas de fotointerpretación, mapas de depósitos cuaternarios, etc., incorporando además los nuevos resultados paleontológicos y estratigráficos de los trabajos de campo.

Se confeccionó un esquema tectónico a escala 1:250 000 de la región en el que se diferencian las zonas o terrenos que componen este territorio, así como las fallas principales que aparecen aquí.

## **GENERALIDADES GEOLOGO-ESTRUCTURALES Y DISCUSIÓN DE ALGUNOS ASPECTOS.**

El territorio de la provincia Pinar del Río se divide en tres diferentes regiones geológicas o zonas tectono-estratigráficas bien reconocidas: Guaniguanico, Bahía Honda (al norte) y San

Diego de Los Baños (al sur), las cuales aparecen separadas entre sí por fallas regionales abruptas o subverticales de primer orden. La Falla Pinar separa las zonas Guaniguanico y San Diego de Los Baños, tiene buena expresión topográfica y parece haber sido de tipo inverso en su estadio inicial (Gordon et al. 1997). Sin embargo, ésta tuvo un carácter esencialmente transcurrente sinistral (Gordon et al. arriba citado; Cáceres 1998), aunque durante la etapa neoplatafórmica se comportó, en gran medida, como una falla normal extensiva al igual que algunas otras fallas longitudinales de la Zona Guaniguanico (Gordon et al. arriba citado; Martínez et al. 1988, 1991, 1994); mientras que la Falla Consolación del Norte separa las zonas Guaniguanico y Bahía Honda, con dirección W-E y buzamiento subvertical o abrupto al norte, fue contemplada inicialmente en Furrázola-Bermúdez et al. (1964). Esta parece haber sido inicialmente de carácter inverso (Martínez et al. 1988, 1991; Cofiño 2002), aunque en una etapa más tardía tuvo una importante componente transcurrente sinistral bien documentada en las mesoestructuras (Cofiño, arriba citado). El carácter esencialmente sinistral de esta falla parece estar avalado por una intensa cataclasis y un gran desmembramiento de los horizontes litológicos con la manifestación de numerosas discordancias acimutales a lo largo de la misma (Pszczółkowski et al. 1975; Martínez et al. 1988). Ambas fallas fueron originadas durante la orogenia vinculada con la colisión entre las placas caribeña y norteamericana, probablemente con la etapa más tardía de la misma durante el Eoceno Inferior. (Ver Fig.1)

La Zona San Diego de Los Baños se caracteriza por afloramientos de los depósitos de la cobertura neoplatafórmica, pues solamente en las estribaciones de la Falla Pinar se exponen sedimentos de la etapa orogénica (Pszczółkowski et al. 1975). Su parte norte constituye un bloque independiente (Bloque Los Palacios) donde se desarrolló la Cuenca o Depresión Los Palacios, de carácter esencialmente postorogénico, aunque parece haberse generado durante la etapa más tardía de la orogenia junto con la propia Falla Pinar (Rosencrantz, 1996). Esta cuenca tiene una gran potencia de los depósitos neoplatafórmicos (Iturralde-Vinent 1978; Pszczółkowski et al. 1975; Piotrowska 1976), manifestándose en su substrato diversas fallas escalonadas subparalelas a la Falla Pinar (J.O. López et al. 1987). Es importante señalar que los depósitos preorogénicos (a partir del Albiano) y orogénicos que componen el substrato de la Cuenca Los Palacios son de carácter terrígeno y terrígeno-carbonático, muy diferentes a los que caracterizan la Zona Guaniguanico. Además, estos aparecen menos dislocados que las secuencias de las zonas Guaniguanico y Bahía Honda, pues siempre están dispuestos en una sucesión estratigráfica normal (J.O. López et al. 1987; García et al. 1989). Es importante señalar que en su basamento no se destacan representantes de la parte axial del arco volcánico cretácico, aunque se han reportado algunas intercalaciones de tobas y areniscas tobáceas en los sedimentos premaastrichtianos (J.O. López et al. 1987; García et al. 1989; Bralower e Iturralde-Vinent 1997), lo que ha hecho sugerir a algunos autores que se trata de una secuencia de cuenca de interarco o de retroarco (Martínez et al. 1988, 1991; J.G. López et al. 1995). La diferencia notable en el carácter del corte geológico y en la intensidad de las dislocaciones entre el substrato de la Cuenca Los Palacios y las secuencias de similar edad de las zonas Guaniguanico y Bahía Honda, demuestran que a lo largo de la Falla Pinar hubo una transcurrencia de magnitud considerable, lo que fue señalado por Piotrowska (1982).

Una importante dislocación, subparalela a la Falla Pinar y bien manifiesta por datos geofísicos (en correspondencia con Rodríguez-Basante, 1999), denominada aquí Falla Los Palacios, limita a la Cuenca Los Palacios por el sur, seccionando a la Zona San Diego de Los Baños en dos bloques de carácter diferente (Somin y Millán 1981; Rosencrantz 1996; Rodríguez-Basante 1999).

La Zona Bahía Honda se caracteriza por exposiciones de rocas ofiolíticas de suprasubducción, así como de secuencias cretácicas de una presunta cuenca de retroarco y, en menor grado, de la parte axial del arco volcánico; formando un conjunto rocoso muy dislocado y desmembrado tectónicamente (Pszczółkowski et al. 1975; Pszczółkowski y Albear 1982; Martínez et al. 1994, Cruz-Gámez 1998, Iturralde-Vinent 1998). Además afloran depósitos orogénicos deformados (Fms. Vía Blanca, Peñalver) relacionados genéticamente con la fase tectónica del Campaniano-Maastrichtiano que tuvo lugar en la placa del Caribe durante la consolidación de la geoestructura oceánica eugeoclinal después de la extinción del arco volcánico; y también sedimentos terrígenos menos deformados del Paleogeno Inferior (Grupo Mariel), depositados discordantemente sobre los complejos anteriores en una cuenca de piggy back (Pszczółkowski et al. 1975; Martínez et al. 1991; Iturralde-Vinent 1998). Recientemente se obtuvo una edad Ar-Ar de 130 millones de años en unas anfíbolitas metadiabásicas, geoquímicamente consideradas como toleitas de suprasubducción, las cuales forman cuerpos o bloques incluidos en una estrecha faja de serpentinitas muy cizalladas, dispuesta al este del macizo ofiolítico de Cajalbana (García-Casco et al. 2003), indicándose así que el metamorfismo oceánico de baja presión que afectó a estas ofiolitas ocurrió en el Cretácico Inferior, probablemente antes del inicio del vulcanismo del arco cretácico en el Aptiano.

La zona tectono-estratigráfica Guaniguanico se ha considerado recientemente como un terreno tectonoestratigráfico independiente cuyas secuencias proceden del paleomargen de Norteamérica, probablemente de la Península de Yucatán o Bloque Maya (Iturralde-Vinent, 1994, 1998; Pszczółkowski 1999, Linares, 2004). Esta se puede dividir en tres diferentes subzonas, reconocidas en sentido general hasta el momento actual: Los Organos, Rosario y Esperanza.

La Subzona Esperanza fue reconocida primeramente en Pszczolkowski et al. (1975) como una secuencia que constituye una zona estructural formacional independiente, expuesta en una estrecha faja en el extremo norte de la mitad occidental de Guaniguanico, la cual denominamos aquí faja o cinturón Esperanza. Más adelante esta secuencia se incorporó dentro de la Zona Guaniguanico (Astajov et al. 1981; Burov et al. 1986) y, recientemente, se ha considerado como la prolongación occidental de unidades de la secuencia de Rosario del Norte de la Subzona Rosario (Martínez et al. 1988, 1991; Pszczolkowski 1994 b, 1999, Linares, 2004). Sin embargo, tanto la secuencia de Rosario del Norte, así como la del cinturón Esperanza, tienen sus características propias que las diferencian, no habiéndose encontrado aún transiciones graduales entre una y otra. Además ambas aparecen separadas abruptamente por la Falla regional San Andrés. Los cortes de la faja Esperanza aparecen intensamente escamados al igual que los del resto de la Zona Guaniguanico y se caracterizan principalmente por los sedimentos de la Fm. Esperanza del Jurásico Superior-Cretácico Inferior (parte baja) y composición carbonatado-terrágena, estimándose que esta formación probablemente sobreyació estratigráficamente al Miembro Castellano (Astajov et al. 1981; Burov et al. 1986), de carácter terrígeno-carbonático y probable equivalente de la parte superior de la Fm. San Cayetano, y por la Fm. Santa Teresa de composición predominantemente silicea. De acuerdo con los citados autores, esas tres unidades litoestratigráficas contactan tectónicamente constituyendo escamas independientes (Astajov et al., Burov et al., arriba citados). Sin embargo, tanto en los afloramientos de la faja Esperanza, así como en los distintos pozos profundos perforados a lo largo de toda su extensión, no se ha evidenciado la presencia del Mb. Castellano, pero sí se han cortado diferentes escamas de la Fm. San Cayetano imbricadas entre otras de la Fm. Esperanza (Kuznetsov et al. 1985; Segura-Soto et al. 1985; Nuñez et al. 1985). La sección estratigráfica superior de este cinturón, cuyas unidades también yacen en



escamas tectónicas imbricadas, parece ser similar a la que caracteriza la secuencia de Rosario del Norte (Rodríguez 1985; Martínez et al. 1988; Pszczółkowski 1999).

En Pszczolkowski et al. (1975) y Piotrowska (1975, 1976, 1982) se subdivide la Subzona Los Organos en tres unidades tectónicas de primer orden: Alturas de Pizarras del Sur, Alturas de Pizarras del Norte y el "cinturón de mogotes", ocupando esta última una posición tectónica infrayacente e intermedia entre las otras. Se demostró que las Alturas de Pizarras del Sur constituyen un manto tectónico con yacencia relativamente suave, formado esencialmente por los cortes de la Fm. San Cayetano, que sobrecorrió desde el sur a las unidades del cinturón de mogotes. Pszczółkowski (en Pszczółkowski et al. 1975; Pszczółkowski 1976) destacó que el sector oriental de Alturas de Pizarras del Norte constituía la prolongación de las unidades de la secuencia de Rosario del Sur, cabalgando sobre el cinturón de mogotes. Por otra parte, K. Piotrowska (1975, 1976, 1982) estimó que la parte occidental de Alturas de Pizarras del Norte estaba constituida por unidades propias de Los Organos, probablemente formando parte de un mismo manto tectónico original con los cortes de Pizarras del Sur, demostrándose posteriormente como incorrecto, tal como se verá más adelante.

Los afloramientos de la Fm. San Cayetano solo aparecen incipientemente metamorfizados. Sin embargo, en el mismo extremo meridional de las exposiciones de Alturas de Pizarras del Sur, cortada por la Falla Pinar, se destaca una faja metamórfica (faja Cangre) formando una unidad estructural, superpuesta tectónicamente, donde las rocas aparecen mucho más deformadas y con una verdadera esquistosidad. Además de los equivalentes de San Cayetano, aparecen calizas cristalinas con restos de ammonites del Jurásico Superior y cuerpos de metagabros y metadiabasas que contienen glaucofana (Hatten 1957; Millán 1972; Piotrowski 1976; Somin y Millán 1981; Pszczolkowski et al. 1975; Piotrowska 1975, 1976).

El cinturón de mogotes se trata de un conjunto de mantos y escamas tectónicas buzantes al N-NW bajo ángulos de 25 a 30 grados, en gran medida calcáreas y generalmente muy desmembradas, que sufrió el menor grado de transporte tectónico de la Zona Guaniguanico, ocupando el nivel estructural mas bajo (Hatten 1957; Pszczółkowski et al. 1975; Martínez et al. 1988; Iturralde-Vinent 1994, 1998; Pszczółkowski 1999). Además se destacan secuencias muy poco dislocadas, supuestamente autóctonas, no expuestas en superficie, las cuales fueron cortadas en las profundidades por el pozo profundo Pinar-1 (López, J.G. et al. 1987).

La Subzona Rosario fue subdividida por Pszczolkowski (Pszczolkowski et al. 1975; Pszczolkowski 1976) en dos diferentes secuencias, cada una dislocada en varios mantos o unidades tectónicas: secuencia de Rosario del Norte y secuencia de Rosario del Sur, división que ha sido aceptada hasta el momento actual. Tal como se dijo, éste autor también señaló que las unidades de la secuencia de Rosario del Sur cabalgaron sobre el cinturón de mogotes de los Organos; en la parte más oriental formando un manto tectónico subhorizontal.

Astajov et al. (1981) destacaron que las unidades de Rosario del Sur se extienden por todo el territorio de Alturas de Pizarras del Norte, más al oeste del límite establecido entre las unidades de Los Organos y Rosario en Pszczółkowski et al (1975), señalando además que sus diferentes escamas tectónicas tenían una vergencia sur, sobrecorriendo desde el norte al cinturón de mogotes a través de la denominada Falla Frontal. La vergencia sur de las estructuras en diferentes unidades de la Subzona Rosario fue también destacada en Martínez et al (1988, 1991). Se demostró, sin lugar a dudas, que las unidades de Alturas de Pizarras del Norte son totalmente independientes de Alturas de Pizarras del Sur, encontrándose el cinturón de

mogotes sobrecorrido desde el sur por el manto tectónico que compone la segunda y, desde el norte, por unidades tectónicas de la secuencia de Rosario del Sur extendidas a lo largo de Pizarras del Norte. En Martínez et al. (1988), Martínez y Vázquez (1987) y Pszczółkowski (1994 a y 1999) se considera que las unidades de la secuencia de Rosario del Sur ocupan las Alturas de Pizarras del Norte hasta el mismo límite occidental cubierto de la Zona Guaniguanico. De acuerdo con esto, la Subzona Los Organos se compondría solamente por dos unidades de orden principal (Alturas de Pizarras del Sur y el cinturón de mogotes), pues Alturas de Pizarras del Norte se trataría de la prolongación occidental de unidades de la Subzona Rosario.

En correspondencia con lo señalado arriba se estima que las secuencias de la Subzona Rosario procedieron de una región relativamente más norteña que las de Los Organos ( lo que fue señalado por Martínez et al. 1988, 1994), pero nunca más sureña como destacaron numerosos investigadores (Pszczółkowski et al. 1975; Pszczółkowski 1994 b, 1999; Iturralde-Vinent 1994,1998; Gordon et al. 1997; Cobiella et al. 2000). Además, la vergencia dirigida principalmente hacia el sur de las unidades nappe-escamadas de la Subzona Rosario, cabalgando las unidades de Rosario del Sur sobre el cinturón de mogotes (Astajov et al. 1981; Burov et al. 1986; Martínez et al. 1988, 1991), no favorece la idea, sostenida por la mayoría de los geólogos, de que un manto tectónico compuesto por los complejos expuestos en la denominada Zona Bahía Honda sobrecorrió desde el sur sobre todas las secuencias que constituyen al terreno Guaniguanico (incluyendo las de Alturas de Pizarras del Sur y la faja metamórfica), originando así la estructura nappe - escamada de esta región.

La zona o terreno Guaniguanico presenta numerosas fallas inversas o de sobrecorrimiento dispuestas longitudinalmente, caracterizando su estructura nappe-escamada.

Es necesario señalar, que aún no está resuelto que ocurrió primero: el sobrecorrimiento desde el sur del manto de Pizarras del Sur sobre la unidad de mogotes; o el cabalgamiento de norte a sur de las unidades de Rosario del Sur sobre la propia unidad de mogotes, ya que al respecto existen contradicciones (Burov et al. 1986; Martínez et al. 1988).

Rigassi-Studer (1963) había considerado que una importante falla transcurrente con dirección NW separaba las sierras de los Organos y del Rosario. Sin embargo, los autores de los mapas geológicos de la región (Pszczółkowski et al. 1975; Martínez et al. 1988) no apoyaron la existencia de tal dislocación. Más adelante, Tenreyro et al. 1994, basado en la geología regional, en las imágenes cósmicas y en las intensas anomalías lineales locales de los campos físicos con dirección NW, retomaron la existencia de esta ruptura, considerándola como una falla transformante muy antigua que separaba diferentes dominios geotectónicos y que denominaron Falla San Andrés. El modelo elaborado por ellos sobre la base de la existencia de esta falla, planteaba que las secuencias de la Sierra de los Organos (junto con las del cinturón Esperanza) y las de la Sierra del Rosario se originaron en distintos márgenes continentales, o sea, que en el terreno Guaniguanico ocurrió la yuxtaposición de secuencias de dos márgenes diferentes. Si analizamos los mapas geológicos de la región (Pszczółkowski et al. 1975; Martínez et al. 1988), en el sector que limita las sierras de Los Organos y del Rosario aparece una brusca inflexión estructural de unos 30 a 40 grados, que alcanza 6 u 8 kilómetros de ancho, donde las unidades litológicas y estructurales se disponen con una dirección NW, de forma muy discordante con respecto al resto (hecho bien marcado en las imágenes cósmicas), destacándose además una ligera inflexión de las distintas unidades a un lado y otro de esta supuesta zona de falla sugiriendo una probable transcurrencia dextral. Tales evidencias indican la presumible existencia de una importante ruptura diagonal dispuesta en el mismo límite de las sierras de Los Organos y del Rosario, la cual no corta o atraviesa las fallas Consolación del

Norte y Pinar, pues ambas siguen normalmente su curso a un lado y otro de la misma. Por eso se considera que debe tratarse de una dislocación propia de la zona o terreno Guaniguanico, más antigua que estas dos fallas regionales limítrofes del mismo. La relativa antigüedad de la presunta Falla San Andrés, está en correspondencia con las observaciones geológicas y estructurales detalladas realizadas recientemente a lo largo de toda su extensión (Cáceres et al. 2003).

Aunque la época de la génesis de la Falla San Andrés no está clara, su intensa expresión geofísica, su aparente falta de manifestación en los afloramientos y mesoestructuras, así como su carácter de elemento separador de las unidades de mayor orden de la zona Guaniguanico, indican que ésta se trata de una dislocación regional antigua, quizás generada durante la etapa más temprana de la convergencia y colisión, o quizás incluso desde antes. Sin embargo, a diferencia de la opinión de los últimos, se estima que la Falla San Andrés no se trata de una falla transformante a lo largo de la cual se yuxtapusieron las secuencias de dos diferentes márgenes continentales, sino que se trata de una dislocación propia del terreno Guaniguanico, el cual constituye una región geotectónica coherente.

En el extremo suroccidental expuesto de la Zona Guaniguanico, el área que ocupa Alturas de Pizarras del Norte se ensancha de forma notable, caracterizándose por exposiciones de la Fm. San Cayetano (Pszczolkowski et al. 1975; Burov et al. 1986) que se consideraban pertenecientes a la secuencia de Rosario del Sur (Martínez y Vázquez 1987; Pszczolkowski, 1994 a, b y 1999). Sin embargo, una gran parte de estos afloramientos parece corresponder con una extensión hacia el noroeste (más allá del cinturón de mogotes) de los cortes rocosos del manto tectónico de Pizarras del Sur, pues mientras que el área de exposiciones de la citada formación se ensancha aquí considerablemente, el cinturón de mogotes (que adquiere una disposición norte - sur) se estrecha demasiado y sus contornos son muy sinuosos; además se destacan algunos sombreros tectónicos de la Fm. San Cayetano, lo que no es característico para otras localidades donde aflora la faja de mogotes. Por eso se considera que el verdadero límite tectónico entre las subzonas Los Organos y Rosario (en este caso las unidades de la secuencia de Rosario del Sur) se encuentra aquí, mucho más al noroeste, entre los afloramientos de la mencionada formación expuestos en Alturas de Pizarras del Norte. De acuerdo con la carta geológica de esta región (Burov et al. 1986), este límite podría corresponder con el contacto entre dos diferentes mantos tectónicos donde solo se exponen afloramientos de la Fm. San Cayetano. En el mismo extremo de la supuesta prolongación del manto tectónico de Pizarras del Sur se destaca un enorme sinclinal kilométrico (denominado Sinclinal Guane, Burov et al. arriba citado), cortado tectónicamente en su parte occidental. Es necesario señalar, que, en correspondencia con esta nueva consideración, la faja constituida por unidades de Rosario del Sur mantendría un ancho relativamente constante a lo largo de todo el sector de Pizarras del Norte, lo cual es lógico si se tiene en cuenta su disposición estructural.

El extremo noroccidental de Guaniguanico se caracteriza por dos pliegues kilométricos bien expresados cartográficamente, donde la faja Esperanza, constituida por diferentes escamas tectónicas, aparece plegada conjuntamente con otra faja más sureña, compuesta por escamas del Mbro. Castellano junto con otras de la Fm. San Cayetano, a la cual se le ha asignado aquí el nombre de faja o cinturón Castellano. Al norte se destaca el Anticlinal Manaja y al sur el Sinclinal Jagua (Burov et al. 1986). Cabe señalar, que relacionados con estos pliegues afloran diabasas y gabros en diferente relación, así como algunas serpentinitas (macizo Jagua o Cabeza de Horacio), que sugiere estar vinculado intrusiva o protrusivamente con los cortes de la Fm. Esperanza o con el Mb. Castellano. En las serpentinitas esquistosas que envuelven el

macizo Jagua se observan bloques de metamorfitas, destacándose entre ellos unos de granatita casi monomineral. Los gabros aparecen metamorfozados, pues están anfibolitizados y además contienen glaucofana y en ocasiones granate (Burov et al. 1986), lo que permite suponer que no se trata de un intrusivo normal.

Este conjunto rocoso plegado se separa del área contemplada más arriba, por un cinturón muy estrecho que se acuña al noreste y donde aflora principalmente el Miembro Vieja de la Fm. Manacas con bloques de calizas (Burov et al. 1986). Tal cinturón y su prolongación al noreste (Astajov et al. 1981), coinciden con una importante falla (Falla Laguna, según los autores citados arriba) que secciona longitudinalmente la región de Pizarras del Norte y la divide en dos unidades tectónicas de orden principal, marcando además una discordancia estructural manifiesta. La unidad norteña está formada por las fajas Esperanza y Castellano. Las exposiciones de esta última se caracterizan por escamas tectónicas del Mb. Castellano imbricadas con otras de la Fm. San Cayetano (Astajov et al. 1981; Burov et al. 1986; Martínez et al. 1988). De acuerdo con los mapas geológicos de los autores mencionados, así como el de Mossakowski et al. (1988), la mayoría de las exposiciones reconocidas del Mb. Castellano aparece constreñida al sector donde se expone el cinturón Castellano. Por otra parte, la unidad de orden principal sureña, con una constitución geológica muy diferente, está conformada por varias unidades tectónicas de la secuencia de Rosario del Sur, formando una faja con un ancho bastante regular que sobrecorre al cinturón de mogotes y además, limita tectónicamente, en su porción suroccidental, con la presumible prolongación de los cortes del manto tectónico Pizarras del Sur. Por eso se considera que la Falla Laguna puede también haber tenido una importante componente de tipo transcurrente, pues constituye el límite de dos unidades tectónicas de orden principal.

Una falla o zona de dislocación con dirección W-NW y algo sinuosa atraviesa la Sierra del Rosario, separando las unidades tectónicas de las secuencias de Rosario del Norte y Rosario del Sur. Esta se ha interpretado de diversas maneras, principalmente como el límite de un presumible sobrecorrimiento de los mantos tectónicos de la primera secuencia sobre los de la segunda (Pszczółkowski et al. 1975; Martínez et al. 1988, 1991; Pszczółkowski 1994 b). Cabe señalar, que las unidades rocosas de Rosario del Norte, expuestas al norte de esta falla, buzan sostenidamente hacia el norte bajo ángulos medios; mientras que al sur de esta ruptura afloran los mantos tectónicos de la secuencia de Rosario del Sur, dispuestos principalmente de forma subhorizontal y con vergencia sur. Esta diferencia en el carácter de la secuencia estratigráfica y en la estructura interna pudiera indicar que existió una apreciable transcurrancia a lo largo de tal falla, a la cual se propone denominar Falla Rosario.

El Grupo Mariel, compuesto principalmente por la Fm. Capdevila constituye una secuencia de cuenca transportada (piggy back basin), relativamente poco deformada, que además de sobreyacer estratigráficamente a los complejos oceánicos muy dislocados expuestos en la Zona Bahía Honda, cubre a las unidades nappe escamadas de Rosario del Norte en el mismo extremo oriental de la Cordillera Guaniguanico (Pszczółkowski et al. 1975; Martínez et al. 1991). Este hecho, junto con la presencia de clastos de formaciones jurásico-cretácicas de la Subzona Rosario en la composición de algunos horizontes conglomeráticos de la Fm. Capdevila (Pszczółkowski y Albear, 1982; Martínez et al. 1991), hicieron que Cobiella et al. (2000) trataran a esta formación como una cobertura sedimentaria, de carácter orogénico tardío, depositada sobre los cortes de la Subzona Rosario a continuación de la sedimentación de la Fm. Manacas (típica de cuenca frontal de colisión) y de las intensas deformaciones de las secuencias de la Zona Guaniguanico. Sin embargo, Bralower e Iturralde-Vinent (1997) demostraron la imposibilidad de tal consideración, por cuanto las formaciones Manacas y

Capdevila son isocronas en gran medida, alcanzando sus depósitos hasta la parte media del Eoceno Inferior; además, en este mismo sector ellos encontraron, estratigráficamente debajo de la Fm. Capdevila, representantes del Grupo Mariel que llegan hasta la parte baja del Paleoceno Inferior. Los citados autores estimaron que, durante la colisión, el despegue tectónico principal de los complejos de la Zona Bahía Honda se localizó cerca de la base de la cuenca de piggy back, explicando de esa manera el bajo grado de dislocaciones del Grupo Mariel y de la Fm. Capdevila en particular, al extremo de no haber sido esta última afectada por las deformaciones que caracterizan al terreno Guaniguanico (Gordon et al. 1997). Por eso el Grupo Mariel debe yacer formando una lámina rocosa despegada pasivamente durante el sobrecorrimiento de los complejos de la Zona Bahía Honda, emplazándose como una cobertura tectónica poco deformada sobre las unidades de Rosario del Norte, después que ocurrió la transcurrancia sinistral a lo largo de la Falla Consolación del Norte, ya que la traza de esta dislocación regional también aparece aquí cubierta por la secuencia del mencionado grupo. Este cabalgamiento del Grupo Mariel ha sido denominado aquí como sobrecorrimiento Las Terrazas. Cabe señalar, que en correspondencia con Mossakovski et al.(1988) y Martínez et al. (1991), el extremo oriental de las exposiciones de la Sierra del Rosario aparece particularmente afectado por un sistema de fallas más tardías con dirección NE, complicando así la expresión de este sobrecorrimiento.

Es necesario señalar, que poco más al este de la Cordillera de Guaniguanico se destaca la ventana tectónica Martín Mesa, caracterizada por un afloramiento de las propias unidades de la secuencia de Rosario del Norte con grandes áreas de afloramientos de la Fm. Manacas, en medio de ofiolitas, vulcanitas cretácicas y depósitos de las formaciones Vía Blanca y Capdevila, conjunto de complejos rocosos similar al expuesto en la Zona Bahía Honda y que parece haber provenido del sur (Martínez et al. 1991; Albear e Iturralde-Vinent, 1982). Esto podría indicar que los diferentes complejos expuestos en la Zona Bahía Honda cabalgaron desde el sur sobre la secuencia de Rosario del Norte, pero no sobre el resto de las secuencias que componen la Zona Guaniguanico, ya que no se han encontrado evidencias que avalen esto último.

Está claro que los sobrecorrimientos tuvieron un importante papel en el estilo tectónico impreso durante la colisión eocénica en la región de Cuba Occidental. Sin embargo, de acuerdo con lo expuesto hasta aquí, se estima que en la yuxtaposición de las tres zonas tectono - estratigráficas contempladas en la provincia Pinar del Río (Guaniguanico, Bahía Honda y San Diego de Los Baños), así como dentro de cada una de estas zonas, la transcurrancia sinistral jugó también un rol de consideración en esa propia fase tectónica. Se estima incluso que esta transcurrancia pudo haber sido más acentuada que en el norte de Cuba Central, debido al carácter marcadamente oblicuo o transpresional de la colisión en el territorio cubano más occidental.

Se considera que el límite entre las formaciones Capdevila y Universidad marca la verdadera separación entre las etapas orogénica y postorogénica o neoplatafórmica del desarrollo geológico del territorio. Tal como se señaló en Martínez et al. (1991, 1994), el depósito de la Fm. Universidad, de carácter carbonatado y una edad Eoceno Inferior parte alta - Eoceno Medio parte baja, coincide con el inicio de la estabilidad tectónica que tuvo lugar a continuación del establecimiento de la estructura nappe – escamada de la región. El contacto entre ambas formaciones con frecuencia es discordante, principalmente en los afloramientos donde falta la parte inferior de la Fm. Universidad, conocida como Mb. Toledo, pues cuando aparecen los cortes del citado miembro, el límite entre esas dos formaciones suele ser de carácter concordante y sin hiatus (Pszczółkowski et al. 1975; Martínez et al. 1991, 1994; Bralower e

Iturralde – Vinent 1997). Sin embargo, algunos autores han estimado que una importante discordancia angular marca el verdadero límite inferior de la cobertura neoplatafórmica en el territorio, el cual está dado por los depósitos de la Fm. Loma Candela (Pszczółkowski et al 1975; Pszczółkowski y Flores 1986; Bralower e Iturralde – Vinent 1997), cuya edad es Eoceno Medio y yace discordantemente sobre la Fm. Capdevila, aunque su contacto con la Fm. Universidad parece ser concordante y sin hiatus (Martínez et al. 1991, 1994). Ninguna de estas u otras formaciones postorogénicas se exponen en el terreno Guaniguanico, probablemente debido a que este último constituye un bloque que fue sometido secularmente a levantamientos durante la etapa neoplatafórmica (Iturralde – Vinent 1978).

Numerosas fallas longitudinales de diferentes órdenes fueron parcialmente reactivadas a partir del Mioceno, como dislocaciones abruptas o subverticales con un carácter normal o extensivo, a lo largo de todo el terreno Guaniguanico (incluyéndose aquí la Falla Pinar), jugando así un importante papel en la configuración de su actual relieve colinoso (Gordon et al. 1997). La Depresión Los Palacios fue particularmente activa durante gran parte de la etapa neoplatafórmica, depositándose un gran espesor de sedimentos (García et al. 1989; López J.O. et al 1987; López J.G. et al. 1995).

## CONCLUSIONES

- La transcurrencia sinistral jugó un papel esencial en la estructura tectónica establecida durante la colisión eocénica en el territorio de Pinar del Río. Fallas regionales con una importante componente sinistral ocurridas durante esta fase tectónica (Fallas Pinar y Consolación del Norte) separan las tres zonas tectono-estratigráficas reconocidas, así como, probablemente, diferentes unidades tectónicas en las zonas Guaniguanico y San Diego de la Baños.
- Una falla esencialmente transcurrente sinistral (Falla Los Palacios) divide la Zona San Diego de los Baños en dos bloques con substratos muy diferentes. La Cuenca Los Palacios se desarrolló en el bloque septentrional.
- La Formación Guajaibón, cuyo carácter exótico respecto a las secuencias de Guaniguanico ha sido señalado por varios autores, constituye una estrecha faja que podría haber sido emplazada tectónicamente, en el límite entre las zonas Guaniguanico y Bahía Honda, por la transcurrencia sinistral ocurrida a lo largo de la Falla Consolación del Norte.
- La faja litotectónica que constituye la secuencia de la subzona Esperanza aparece plegada y dislocada conjuntamente con otro cinturón compuesto por escamas del Mbro Castellano y de la Formación San Cayetano. Ambas fajas componen un conjunto rocoso cortado por una falla regional con una discordancia estructural bien manifiesta, por medio de la cual éste se yuxtapone tectónicamente con un cinturón formado por las unidades de Rosario del Sur expuestas en Alturas de Pizarras del Norte.
- La denominada Falla San Andrés, establecida por Rigassi Studer (1963), parece tratarse de una falla regional transcortical, probablemente precolisional y con una importante componente transcurrente dextral, propia de la zona o terreno Guaniguanico, constituyendo un elemento tectónico de primer orden que sirvió como límite o frontera, a uno y otro lado, de distintas unidades tectónicas principales de este terreno.



- Los datos aportados por Piotrowska(1982) y Astajov et al.(1981), permiten considerar, que las unidades de Alturas de Pizarras del Norte que constituyen la prolongación occidental de unidades de Rosario del Sur, sobrecorrieron de norte a sur sobre el cinturón de mogotes de la Subzona Los Organos.
- Las unidades oceánicas que conforman la Zona Bahía Honda, así como los depósitos orogénicos del Campaniano-Maastrichtiano y de cuenca de piggy-back del Paleoceno Inferior-Eoceno Inferior que las cubren, parecen haber sobrecorrido de sur a norte a la secuencia de Rosario del Norte, así como a su prolongación oriental, durante la colisión. Sin embargo, no existen argumentos geológicos que permitan sustentar la idea de que también cabalaron sobre las otras secuencias que componen al terreno Guaniguanico.
- Una gran parte de los afloramientos de la Formación San Cayetano expuestos en Alturas de Pizarras del Norte en el extremo occidental de Guaniguanico, parecen formar parte de una prolongación hacia el W-NW de las mismas secuencias que componen el manto tectónico de Alturas de Pizarras del Sur, el cual sobrecorrió de sur a norte a las unidades del cinturón de mogotes.
- Una cubierta tectónica poco deformada de la secuencia del Grupo Mariel (piggy back basin), despegada pasivamente, cabalgó, probablemente de sur a norte, sobre las unidades de Rosario del Norte. Este sobrecorrimento ocurrió posteriormente a la transurrencia sinistral de la Falla Consolación del Norte.
- Una dislocación postorogénica transversal a las estructuras y con una dirección W-NW, provocó un hundimiento relativo de varios centenares de metros del extremo más occidental del territorio cubano, separando la Cordillera de Guaniguanico y la Península de Guanahacabibes.
- La interpretación combinada de datos magnéticos, gravimétricos e imágenes gammaespectrométricos regionales han hecho posible una mayor precisión de las tareas cartográficas, incluso en las áreas donde la geología del basamento ha sido enmascarada por una cobertura de sedimentos jóvenes. Los resultados de esta interpretación son los siguientes.
  1. La posible extensión al N y NW de las ofiolitas, en la Zona Bahía Honda, bajo la Formación Vía Blanca .
  2. El límite entre los dos miembros de la Formación San Cayetano al NW podría ser trazado algo más al W.
  3. El contacto entre las Formaciones Esperanza y San Cayetano podría extenderse al S dentro del área cartografiada como Miembro inferior de la Formación San Cayetano.
  4. La anomalía geofísica localizada en el centro sur del área puede interpretarse como un cuerpo de sienogabro vinculado con el eje del arco volcánico cretácico, aunque la naturaleza de la anomalía gammaespectrométrica necesita ser clarificada aún.

5. La parte más profunda de la Cuenca Los Palacios puede ubicarse un poco más al NW con respecto a su posición con el mapa tectónico del área, lo que puede ser interpretado de las imágenes de la Anomalía de Bouguer.
- Basado en las respuestas geofísicas, principalmente en la anomalía de Bouguer residual y la señal analítica de la intensidad magnética total, el área de estudio puede ser dividida en cuatro bloques estructurales. Los bloques 1 y 2 coinciden con los terrenos Bahía Honda y Guaniguanico, respectivamente, mientras que los bloques 3 y 4 se identifican con la Zona San Diego de los Baños.
  - Los sistemas de fallas revelados a partir de la interpretación de los campos potenciales y las imágenes derivadas, corroboran los actualmente trazados; destacando además nuevos elementos disyuntivos no revelados actualmente, principalmente en la parte sur del territorio. La zona de falla San Andrés, establecida por Rigassi- Studer (1963) y retomada posteriormente por Tenreyro et al. 1994, se traza perfectamente. También se destaca la falla que separa Guaniguanico y la Península de Guanahacabibes
  - El modelaje gravimétrico y magnético han permitido revelar nuevos rasgos y elementos que contribuyeron con información nueva, tales como:
    1. Las oñiolitas en la Zona Bahía Honda buzcan con dirección principalmente al N y su espesor podría variar desde los 600 m hasta los 3000 m (exceptuando el macizo de Cajalbana cuya potencia puede alcanzar los 6 500 m)
    2. La profundidad y los rasgos del basamento en la Cuenca Los Palacios pudieron ser establecidos. La potencia máxima de sedimentos alcanza aquí valores cercanos a los 7 500 m en el bloque 3, mientras que en la parte sur del bloque 4 el basamento se localiza aproximadamente a unos 800 m de profundidad. Se destaca bien la separación de ambos bloques por una falla subparalela a la falla Pinar
  - La edad del Miembro El Americano de la Fm. Guasasa se preciso como: Jurásico Superior (Tithoniano Inferior) - Cretácico Inferior (Berriasiano Inferior parte baja) en base a nuevos estudios de Nannoplancton realizados por A. Pszczolkowski en las muestras de la localidad PR-01 y PR-06.
  - El límite superior de la Fm. Esperanza es transicional a la Fm. Santa Teresa, contacto observado en la localidad PR-15.
  - Se propone excluir la Formación Moreno del Grupo Buenavista ya que se ha comprobado su edad Cretácico Superior Campaniano - Maastrichtiano, existiendo por lo tanto un hiatus entre esta formación y la Formación Carmita infrayacente.
  - Se reporta por primera vez en el territorio de Pinar del Río la presencia de los depósitos de las formaciones La Cabaña, Salado y Sigüanea. También por primera vez se cartografió la Formación Camacho.
  - Se describieron como grupos de depósitos independientes, aunque innominados, las arcillas rojas carbonáticas y las calcarenitas. Estas últimas conforman las barras que se encuentran

muy extendidas en la Península de Guanahacabibes y cuya posición estratigráfica se tratará de definir cuando concluyan los estudios que se realizan en los depósitos similares destacados en la parte sur de Isla de la Juventud.

- Se precisaron los límites de las formaciones y depósitos innominados anteriormente reportados, en particular los de las formaciones Guane, Guevara y Villarroja.
- Las determinaciones de edad absoluta, mediante análisis de C14, en depósitos de turbas formadas en lagunas ubicadas en el territorio emergido, a más de 10 km de la línea costera actual, tienen una extraordinaria importancia para la reconstrucción paleogeográfica del territorio durante el Cuaternario. Se debe destacar que los datos relacionados con el nivel alcanzado por el mar durante el clímax de la última transgresión, hace unos 5 000 años, apuntan que la altura máxima fue por debajo de los 5 m.

## BIBLIOGRAFIA

- Albear, J.F. de, M.A. Iturralde-Vinent (1982): Zonación estructuro-facial de las provincias de La Habana. En: Contribución a la Geología de las Provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. p. 68 – 76. Edit. Cient. Técn., C. Habana.
- Astajov, K., Solianik, V., Vasiliev, V., Dobal Martínez, Fernández de Lara, Orbiña, R., Dimidov, J., Santa María, S., 1981. Informe sobre los trabajos de levantamiento Geológico escala 1:50 000 en 1a parte noroeste de 1a provincia de Pinar del Río (hoja 3484-III, 3483-III y 3483-IIIa) Empresa de Geología de Pinar del Río, O.N.R.M., MINBAS.
- Bralower, T.J., M.A. Iturralde-Vinent (1997): Micropaleontological dating of the collision between the North American Plate and the Greater Antilles Arc in Western Cuba. *Palaíos*, v.12, p.133-150.
- Burov, V., Martínez, D., Yvsainov, Y., Fernández, R., Derbenev, V., Uspensky, A., 1986. Informe de los trabajos de levantamiento geológico escala 1:50000 realizado en la parte occidental de la provincia de Pinar del Río. Empresa Geológica Pinar del Río, O.N.R.M., MINBAS.
- Cáceres, D. (1998): Diferentes fases deformacionales en la porción más meridional de Sierra de Los Organos. GEOMIN 98, Mem. 1, p. 89-02. CNIG, IGP.
- Cáceres, D., B. Mahapy, H. Mohamed (2003): Análisis estructural en la zona de articulación Sierra de Los Organos - Sierra del Rosario, en el sector San Diego – Bermejales. Pinar del Río. Resúmenes. V Congreso Cubano de Geología y Minería. p. 156 – 157. C. Habana.
- Cobiella, J.L., S. Gil, A. Hernández, N. Diaz (2000): Estratigrafía y tectónica de la Sierra del Rosario, Cordillera de Guaniguanico, Cuba Occidental. *Minería y Geología*, vol. XVII, n.1, p. 5-15.
- Cofiño, C.E. (2002): Características microestructurales de las secuencias del Jurásico Superior-Cretácico y su relación con la potencialidad de hidrocarburos en la parte oriental de Sierra del Rosario. Resumen de Tesis de Dr. En Ciencias Geológicas. 27 pp. Univ. Pinar del Río.
- Cruz, E. M. (1998): Sedimentos vinculados al complejo de basaltos en la región de Bahía Honda. GEOMIN 98. Mem. II, p. 224 – 226, III Congreso Cubano de Geología y Minería, CNIG, IGP. C: Habana .
- Furrazola-Bermúdez, G., et al. (1964): Geología de Cuba. Edit. Universitaria, La Habana, 239 pp.

- García, G., G. Fernández, A. Areces (1989): Nuevos aspectos bioestratigráficos y paleoambientales de la depresión Los Palacios. *Tecnológica*. Vol. XIX, n. 4, p. 8-15.
- García-Casco, A., C. Pérez de Arce, G. Millán, M. Iturralde-Vinent, E. Fonseca, R. Torres-Roldán, K. Núñez, D. Morata. (2003): Metabasites from the northern serpentinite belt (Cuba) and a metamorphic perspective of the plate tectonic models for the Caribbean region. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Resúmenes, p. 302-303. C. Habana.
- Gordon, M.B., P. Mann, D. Cáceres, R. Flores (1997): Cenozoic tectonic history of the North America – Caribbean plate boundary zone in western Cuba. *Journ. Geoph. Res.*, Vol. 102, n. B5, p. 10,055 – 10,082.
- Hatten, Ch.W., 1957. Geología de la parte central de la Sierra de los Organos, provincia de Pinar del Río. , O.N.R.M., MINBAS.
- Iturralde-Vinent, M. (1978): Los movimientos tectónicos de la etapa de desarrollo platafórmico de Cuba . *Geollogie en Mijnbow* , Vol. 57, N.2, p. 205-212. Holand.
- Iturralde-Vinent, M. A. (1994): Cuban geology: a new plate tectonic synthesis. *Journ. Petrol. Geol.* Vol. 17, n. 1, p. 39-70
- Iturralde-Vinent, M.A. (1998): Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geol. Hispánica*, Vol. 33, n. 1-4, p. 9-56.
- Kuznetsov, V. I. , J. R. Sánchez, G. Furrázola, R. García (1985): Nuevos datos sobre la estratigrafía de los mantos tectónicos en la costa norte de Cuba. *Ser. Geol.*, n. 2, p. 106-118 CIG, MINBAS.
- Linares Cala, E., 2004. Comparación entre las secuencias mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba Central y Occidental. Significado para la exploración petrolera. Tesis Doctoral
- López, J. G., J. Fernández, R. Tenreiro, J.O. López, O. Castro, M. Yero, E. Linares (1995): Caracterización geólogo – petrolífera del bloque 3, parte noroccidental prov. Pinar del Río (Inédito). Archivo CEINPET. C. Habana.
- López, J. O., J. G. López, J. Fernández, R. Segura (1987): Acerca la constitución geológica de la parte oriental de la Cuenca Los Palacios. Memorias. III Encuentro Cient-Técnico de Geología. p. 27-31. SCG Filial Pinar del Río.
- Martínez, D, Vázquez, M, 1987. Alturas Pizarrosas del Norte extremo Occidental de la Subzona Sierra del Rosario. Memorias, III Encuentro Científico-Técnico. Geológica (57-71), S.C.G. Filial Pinar del Río.
- Martínez, D, Fernández de Lara, R, 1988. Informe sobre los trabajos del levantamiento Geológico y Búsqueda a escala 1:50 000 en la parte central de la provincia de Pinar del Río. Inv. 3642, , O.N.R.M., MINBAS, La Habana.
- Martínez D., R. Fernández de Lara, R. Pelaez, M. Vázquez, E. Barrios, A. Valido, R. Reinoso, J.C. Chang, O. Fernández, R. Denis, L. Gómez, D. Garría, S. Gil, P.H Pérez, R. Reyes, M. Valdivia, R. Núñez, R. Pérez y J. Piz ( 1991). Informe Sobre los Resultados del Levantamiento Geológico y Búsqueda Acompañante a escala 1: 50 000 en la parte Central de la Provincia de Pinar del Río. Arch. ONRM.

- Martínez D., R. Fernández de Ara, R. Pelea, M. Vázquez, E. Barrios, A. Valido, R. Reinoso, J.C. Chang, O. Fernández, R. Denis, L. Gómez, D. García, S. Gil, P.H Pérez, R. Reyes, M. Valdivia, R. Núñez, R. Pérez y J. Piz (1994). Informe sobre los resultados del Levantamiento Geológico y Prospección a Escala 1: 50 000 Pinar – Habana. Arch. ONRM.
- Millán, G. (1972): El metamorfismo y mesodeformaciones de la unidad tectónica más suroriental de la Sierra de Los Organos. Bol. Actas N.2, p. 33-35, IGP. ACC.
- Mossakovski, A. A., et al. (1988): Mapa geológico de Cuba a escala 250, 000. AC. URSS, ACC. Edit. en Moscú.
- Núñez, C., J. Fernández, E. Milián (1985): Complejos litológicos y relaciones estratigráficas en los pozos Dimas-1 y San Ramón-1. Ser. Geol., n.4, p.79-94, CIG. MINBAS.
- Piotrowska, K. (1975): The nappe development in the Sierra de los Organos (western Cuba). *Bull. Acad. Pol. Sci., ser. sci. terre* 23, n.1, p. 42-82.
- Piotrowska, K. (1976): Outline of tectonics of the Pinar del Río Province (Cuba). *Bull. Acad. Polon. Sci., ser. sci. terre*, vol. 24, n. 3-4, p.183-191. Varsovie.
- Piotrowska, K, 1982. Las estructuras de nappes en la Sierra de los Organos. "Contribución a la Geología de la Provincia de Pinar del Río". Edit. Científico-Técnico, Ciudad Habana (1987).
- Pszczółkowski, A, K. Piotrowska, Myczynski, R, Piotrowski, J, Skupiński, A, Grodzicki, J, Danilenwski, D, Haczewski, G., 1975. Texto Explicativo al Mapa Geológico a escala 1:250 000 de la provincia de Pinar del Río. Informe inédito I.G.P, A.C.C, , O.N.R.M., MINBAS.
- Pszczolkowski, A, 1976. Stratigraphic facies sequences of the Sierra del Rosario (Cuba). *Bull. Acad. Polon. Sci. Ser. Sci. Terre*, XXIV, N. 3-4, (193-203),Varsovie.
- Pszczolkowski, A, Albear 1982, 1982. Subzona estructuro-facial de Bahía Honda, Pinar del Río, tectónica y datos sobre la sedimentación y paleografía del Cretácico Superior y el Paleógeno. *Ciencias. Tierra. Espacio*. N. 5, (3-24).
- Pszczolkowski, A, Flores, R, 1986. Fases tectónicas del Cretácico y del Paleógeno en Cuba Occidental y Central. *Bull. Pol. Acad. Sci. Earth Sci*, Vol. 34, N. 1, (95-111), Warsaw.
- Pszczolkowski, A, 1994b. Geological cross-sections through the Sierra del Rosario thrust belt western Cuba. *Studia Geol. Pol. Vol.* 105, (67-90), Pol. Akad. Nauk., Inst. Nauk. Geol.
- Pszczolkowski, A., en: P. Mann editor, 1999a. The exposed passive margin of North America in western Cuba. *Caribbean sedimentary of the world. Series Editor K. H. Hsü. Elsevier Amsterdam* 4: 93-121.
- Rigassi – Studer, D. (1963): Sur la géologie de la Sierra de los Organos, Cuba. *Arch. Sci. Soc., Phys. Hist. Nat.*, V. 16, N. 2, p. 339 –350. Gêneve.
- Rodríguez, R. Y otros, 1985. Tectónica de Cuba Occidental: Tema 4503, c-71, Archivo C.I.D.P., La Habana.
- Rodríguez-Basante, B. (1999): Interpretation of geophysical datasets for geological and structural mapping in western Cuba. Master in Science Thesis. ITC. Holanda.

- Ronsencrantz, E. (1996): Basement structures and tectonics in the Yucatan Basin. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. proy. 364, Spec. Cont. N. 1, p. 36-47, IUGS-UNESCO, Miami.
- Segura, R., E. Millán y J. Fernández, 1985. Formación San Ramón, definición de una unidad litoestratigráficas en la región noroccidental de Cuba, Serie Geológica, No.1, 1985 (89-101).
- Somin, M.L., G. Millán (1981): Geología de los complejos metamórficos de Cuba (en ruso). 219 pp., Edit. Nauka, Moscú.
- Tenreiro, R. y otros, 1984. Resultado de las investigaciones geofísicas en Pinar del Río. Archivo. C.I.D.P. La Habana.



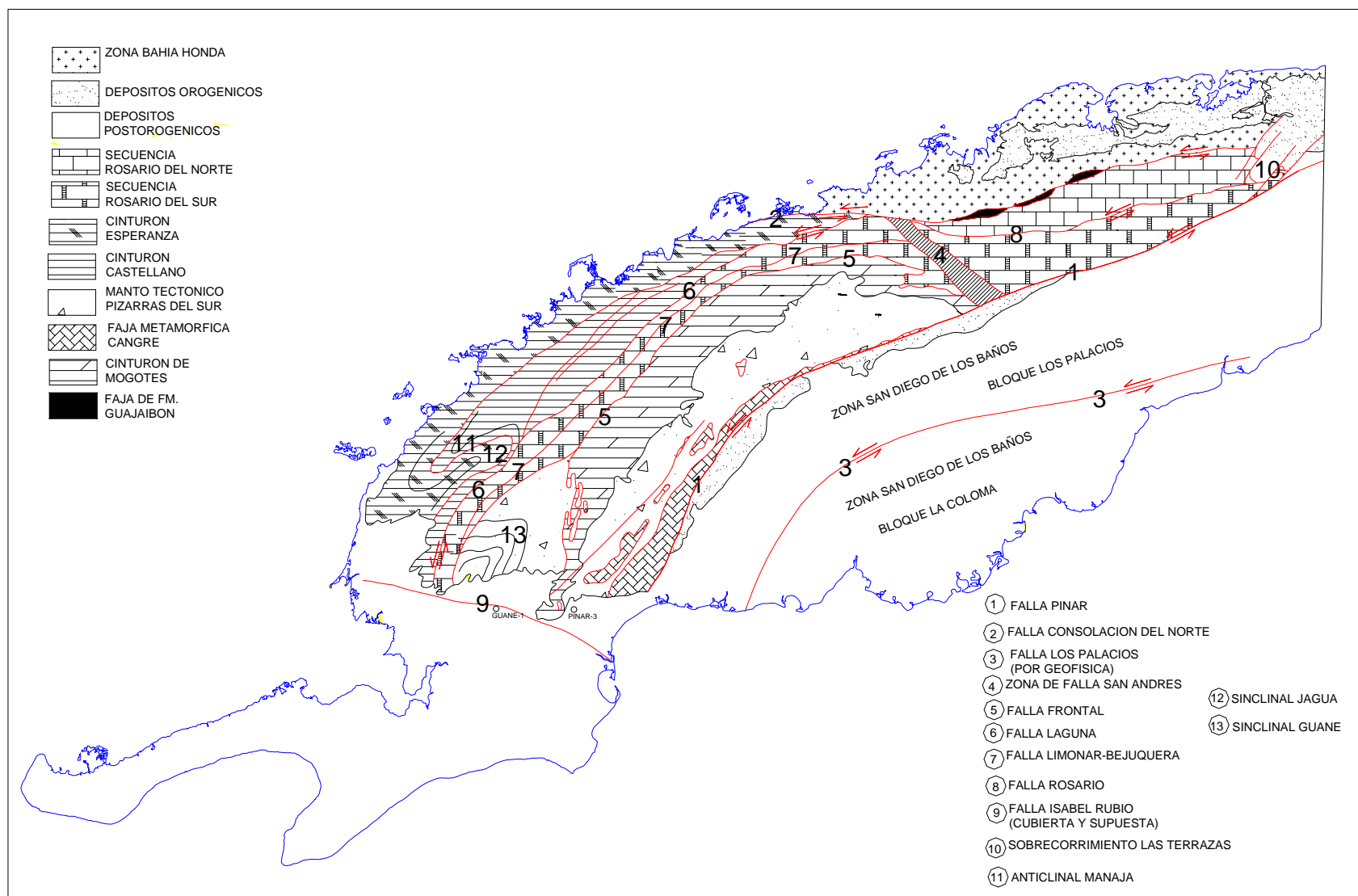


Figura 1. Esquema tectónico de la provincia de Pinar del Río.



## PROPUESTA DE MAPA GEOLÓGICO PARA LA CUENCA DE LOS RÍOS TOA Y DUABA

Ing. Luis San Juan Suarez, Jorge Rodríguez Prieto

Empresa de Ingeniería para la Electricidad, Calle 23, e/ O Y P, Vedado, Ciudad de La Habana,  
Cuba. CP 10400, E-mail: [sanjuancuba@inel.une.cu](mailto:sanjuancuba@inel.une.cu); [sanjuancuba@inel.une.cu](mailto:sanjuancuba@inel.une.cu)

Como parte del desarrollo de nuevas plantas generadoras en el país que contribuyeran a mejorar la eficiencia del Sistema Electroenergético Nacional, entre los años 1990 y 1998 se realizaron una serie de trabajos en la zona de los ríos Toa y Duaba del municipio Baracoa con el objetivo de precisar las condiciones ingeniero geológicas para la construcción de la Central Hidroeléctrica del Complejo Toa-Duaba. Estas investigaciones implicaron un trabajo previo de fotointerpretación que posteriormente necesitó su confirmación mediante trabajos de campo para lo que se empleó el método de levantamiento ingeniero-geológico. Como apoyo al levantamiento se programaron una serie de trabajos geofísicos (sísmica de refracción y geoelectricidad) y otros geotécnicos (perforaciones y ensayos geotécnicos). El resultado de estos trabajos ha sido la confección de un mapa geológico que puede aportar nuevos datos a los ya conocidos.

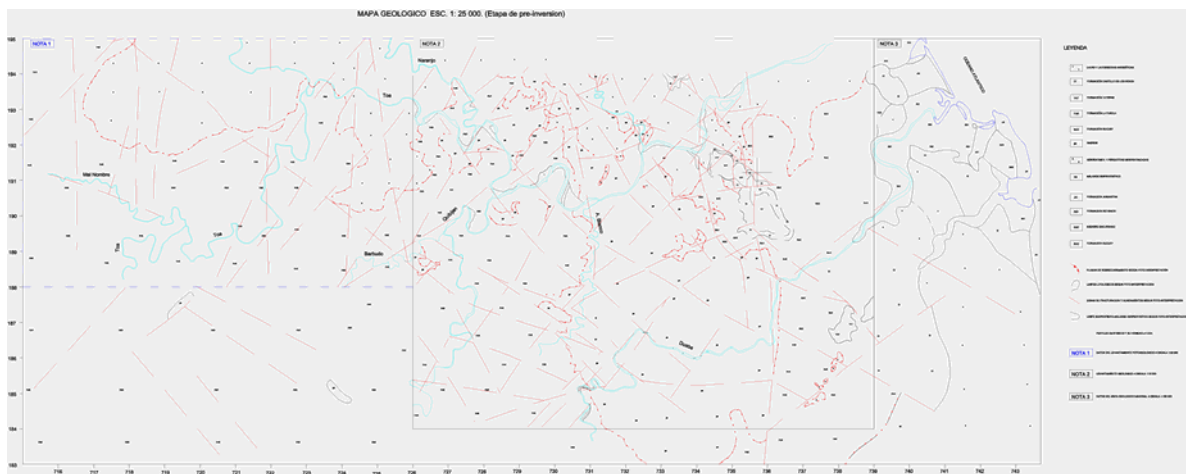


Imagen del plano geologico de la cuenca del Toa-Duaba Esc. 1:25 000.



## LOS MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN EN LA ACTUALIZACIÓN Y GENERALIZACIÓN GEOLOGICA DE CUBA OCCIDENTAL Y ORIENTAL A ESCALA 1:100 000

**Ramón O. Pérez Aragón, Valentina Strazhevich**

*Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril. San Miguel del Padrón. Ciudad de la Habana. Tel. 55 72 32. e-mail: [ramon@igp.minbas.cu](mailto:ramon@igp.minbas.cu); [valentina@igp.minbas.cu](mailto:valentina@igp.minbas.cu)*

### RESUMEN

El empleo de los métodos de procesamiento digital de las imágenes Landsat 7, utilizados primero en la generalización y actualización del mapa geológico 1:100 000 de los territorios de Pinar del Río e Isla de la Juventud, y más recientemente en el de las antiguas provincias orientales, permitió introducir mejoras sensibles a la metodología previamente empleada en dos aspectos fundamentales: Primero, la obtención de una información geológica cualitativa y cuantitativamente superior, debido a la excelente diferenciación por contraste de tonalidades en las imágenes compuestas en falso color de los diferentes complejos lito-estratigráficos. Esto ayudó a reconocer y establecer patrones de interpretación para diferentes complejos litológicos. Como ejemplo, puede citarse la diferenciación de los depósitos recientes de origen marino, aluvial, palustre; así como las áreas ocupadas por rocas básicas y ultrabásicas, de muy buena expresión tonal, y las diferencias contrastantes, del relieve, el drenaje y el microrrelieve de los diferentes complejos de rocas ígneas y sedimentarias, que permiten destacar los límites litológicos y/o tectónicos existentes entre ellos. En segundo lugar, las imágenes obtenidas fueron georreferenciadas con gran precisión en Autocad Map, y sobre ellas se volcó la información previamente digitalizada, para la confección y edición directa sobre esta base del nuevo mapa geológico generalizado y actualizado a escala 1:100 000, trazando directamente sobre la imagen los nuevos y corrigiendo la posición de los límites con anterioridad detectados, garantizando con ello una hasta ahora inmejorable precisión de la ubicación espacial de las diferentes estructuras geólogo-tectónicas. De gran utilidad para la interpretación de alineamientos tectónicos y estructuras anulares de origen supuestamente volcano-tectónico resultó la interpretación de pseudo-imágenes "shadow" obtenidas mediante filtrado del modelo de elevación digital MED del territorio, a escala 1:100 000. Los métodos empleados permitieron además reducir significativamente el tiempo de ejecución y el costo de los trabajos.

### ABSTRACT

The use of digital processing methods of Landsat 7 images, carried out first in the generalization and updating of the geologic map 1:100 000 of the territories of Pinar del Río and Isla de la Juventud, and more recently in that of the former Oriente province, allowed to introduce sensitive improvements to the previously used methodology in two fundamental ways: First, the obtaining of a better qualitative and quantitative geologic information, due to the excellent differentiation by contrast of tonalities of the different litho-stratigraphic complexes in the false color composite images. This helped to recognize and to establish some interpretation patterns of different lithologic complexes. As example, it can be brought the differentiation of the recent deposits of marine, alluvial, marshy origin; as well as the areas occupied by basic and ultrabasic rocks, both of very good tonal expression, and contrasting differences, of relief, drainage and the micro-relief patterns of different complexes of igneous and sedimentary rocks, that allow to highlight the existing lithologic and/or tectonic limits among them. In second place, the obtained FCC images were georeferenced with great accuracy in Autocad Map, and all previously digitized information was overturned over them, for compilation and direct edition on this base of the new geologic map to scale 1:100 000, tracing directly on the image the new ones and improving the position of the previously detected limits, guaranteeing with it an up to now unbeatable precision of the space location of different geologic-tectonic structures. Very useful for the interpretation of tectonic lineaments and ring structures of supposedly volcano-tectonic origin, was the interpretation of pseudo-images "shadow" obtained by filtering of digital elevation model MED of the territory, to scale 1:100 000. The used methods also allowed reducing the time of execution and the cost of the works significantly.



## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el Instituto de Geología y Paleontología ha venido desarrollando una serie de proyectos de cartografía geológica digital de diferentes regiones del territorio nacional (Cuba Central, Habana-Matanzas y Camagüey) bajo el nombre genérico de "Generalización y Actualización del Mapa Geológico de Cuba a escala 1:100 000". Para la ejecución de estos trabajos se había desarrollado una metodología consistente en la digitalización en AutoCad de toda la información gráfica de contenido geológico preexistente, a partir de las "copias duras" (mapas en papel heliográfico, albas, hojas topográficas, etc.) de los diferentes levantamientos a dicha escala y a 1:50 000, así como la confección de esquemas de fotointerpretación a partir de tomas aéreas a escalas 1:62 000 y 1:37 000.

Toda la información digital obtenida por esta vía era superpuesta en pantalla y generalizada sobre la misma teniendo como referencia la información topográfica digitalizada (fundamentalmente los ríos y las curvas de nivel) y precisada por los puntos de muestreo paleontológico. Como es de suponer la precisión y exactitud espacial de la información obtenida estaba afectada en diverso, pero generalmente alto grado, por las deformaciones de las copias duras utilizadas, tanto geológicas como topográficas, como regla, en bastante mal estado de conservación, agravada aún más esta situación por la suma de los errores humanos introducidos durante el proceso de digitalización.

El uso de las imágenes Landsat 7 en soporte digital, utilizadas por primera vez en estos trabajos para el proyecto de generalización y actualización del mapa geológico a escala 1:100 000 de los territorios de Pinar del Río la Isla de la Juventud y posteriormente en el de las antiguas provincias orientales, permitió introducir mejoras sensibles en dos aspectos fundamentales: En primer lugar, la obtención de una información geológica cualitativamente muy superior, debido a la excelente diferenciación por contraste de tonalidades de las imágenes compuestas en falso color de los diferentes complejos lito-estratigráficos. Como ejemplo, puede citarse la información relacionada con los depósitos recientes de origen marino, aluvial, palustre; así como las áreas ocupadas por diferentes tipos de rocas básicas y ultrabásicas de muy buena expresión tonal, y las diferencias contrastantes, del relieve, el drenaje y el microrrelieve de los diferentes complejos de rocas ígneas y sedimentarias, que permiten destacar tanto los límites litológicos como los de origen tectónico existentes entre ellos. En segundo lugar, las imágenes obtenidas fueron georreferenciadas con gran precisión en Autocad, con ayuda de la herramienta "Rubber sheet" y posteriormente utilizadas como "base geo-topográfica", sobre la cual se volcó la información digitalizada para la confección y edición directa sobre ella del nuevo mapa geológico generalizado y actualizado a escala 1:100 000, trazando directamente sobre la imagen los nuevos y corrigiendo la posición de los límites con anterioridad detectados, garantizando con ello una hasta ahora inmejorable precisión de la ubicación espacial de las diferentes estructuras geólogo-tectónicas.

De gran utilidad para la interpretación de alineamientos tectónicos y estructuras anulares de origen supuestamente volcano-tectónico resultó una pseudo-imagen "shadow" obtenida mediante filtrado del modelo de elevación digital MED a escala 1:10 000.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión bibliográfica de algunos de los trabajos nacionales e internacionales de mayor interés para la temática tratada, arrojó que los métodos de mayor utilización para la separación de la información litológica y estructural, a partir de las imágenes de satélite eran en general, los análisis de componentes principales (PC, de "Principal Components" en Inglés) y la obtención de imágenes compuestas en falso color (FCC, del Inglés "False Color Composite") utilizando los diferentes canales multispectrales de las imágenes Landsat (Floyd F. Sabins, JR., 1978) y la ejecución sobre las mismas de clasificaciones supervisadas y no-supervisadas.



Con ayuda del sistema ILWIS se experimentaron los métodos señalados, utilizando dos escenas de las imágenes Landsat 7 (parte Occidental y oriental), tomadas en el período no lluvioso (enero de 2000), las cuales carecen casi totalmente de cobertura nubosa. Para la parte central, la escena disponible corresponde con el período lluvioso, por lo que los tonos de vegetación son mucho más intensos y aparecen algunas áreas con cobertura de nubes que llegan a impedir la interpretación, sobre todo en la parte norte de esta escena. Se realizó además, el análisis de varianza-covarianza y correlación de matrices para dichas escenas, que muestra las mejores combinaciones entre bandas que ofrece de la información menos redundante (Bakker, W. H. et al. 2001) contenida en los diferentes canales espectrales (el "Index Highest Ranking", OIF. Ver tabla. 1), el cual arrojó en todos los casos que las combinaciones de mayores perspectivas en cuanto a las mayores posibilidades de información eran las bandas 1-4-5 y 1-4-7: donde: 1 (zona azul del espectro radioelectrónico con longitudes de onda de 0,45 a 0,52 mm); 4 (zona infrarroja del espectro radioelectrónico con longitudes de onda de 0,76 a 0,90 mm); 5 (zona infrarroja cercana del espectro con longitudes de onda de 1,55 a 1,75 mm) y 7 (zona del infrarrojo térmico del espectro con longitudes de onda de 2,08 a 2,35 mm).

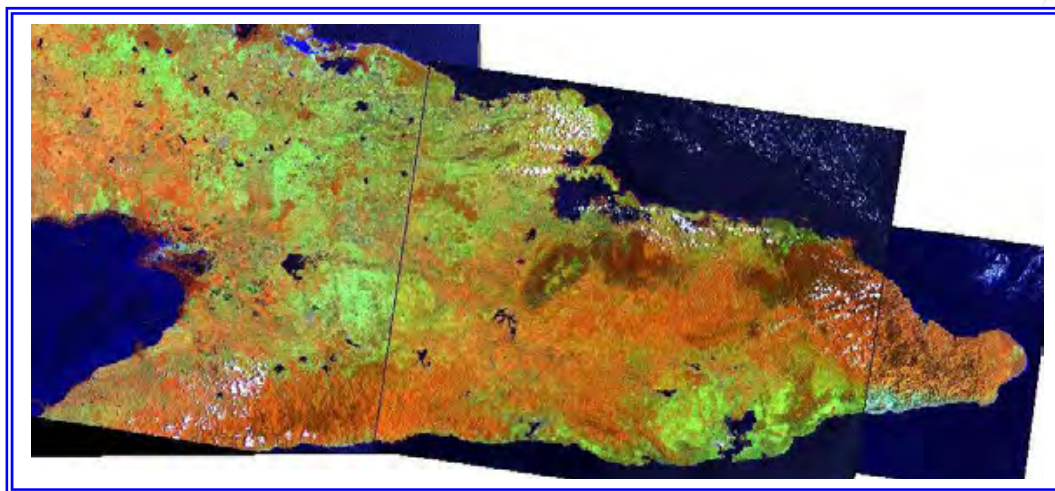
Se realizaron diferentes combinaciones de composiciones en falso color (Fig. 1) de las imágenes espaciales multispectrales, clasificaciones supervisadas y no-supervisadas de las mismas para tratar de resaltar los contrastes entre diferentes tipos de litologías, que pudieran ayudar a la cartografía de límites litológicos y/o tectónicos, obteniéndose muy buenos resultados en general, llegándose finalmente a la conclusión de que los materiales que ofrecían una información más completa e integral para los propósitos de la cartografía geológica en nuestras condiciones geológicas y climáticas, eran las imágenes compuestas en falso color, cuyos valores de reflectancia espectral varían directa o indirectamente en dependencia de la composición litológica y litogeoquímica de la roca madre y por extensión, de las cortezas de intemperismo, los suelos y las propiedades geobotánicas de la cobertura vegetal.

OIF.	Index Highest Ranking			
1:	banda 1	banda 4	banda 5	( 74.25)
2:	banda 1	banda 4	banda 7	( 60.51)
3:	banda 1	banda 3	banda 4	( 58.36)
4:	banda 1	banda 2	banda 4	( 52.94)
5:	banda 1	banda 5	banda 7	( 52.50)
6:	banda 1	banda 3	banda 5	( 51.90)

**Tabla 1. El "Index Highest Ranking", OIF, muestra las mejores combinaciones entre bandas que ofrece de la información menos redundante contenida en los diferentes canales espectrales, las cuales fueron utilizadas con excelentes resultados en este proyecto (1-4-5 y 1-4-7).**

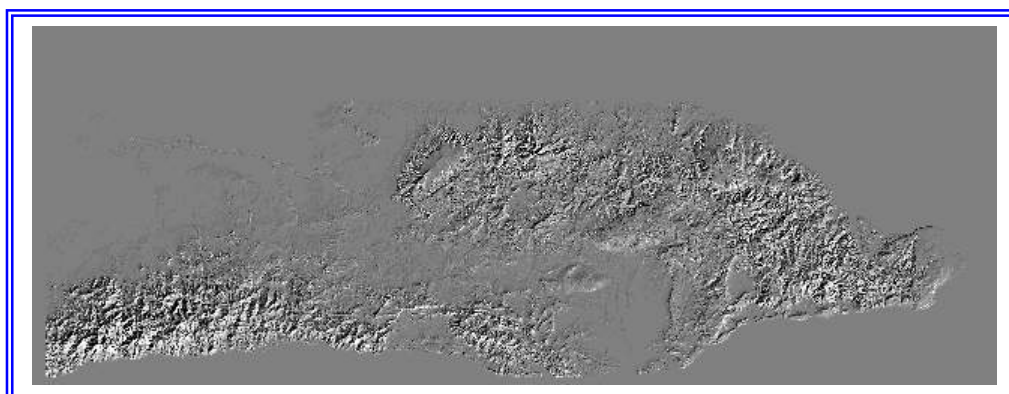
Se utilizó el modelo de elevación digital a escala 1:100 000 obtenido en GeoCuba, a partir del cual se obtuvo un mapa "shadow", utilizando los filtros direccionales prediseñados en el Sistema ILWIS, con lo cual se consiguió una pseudos-imagen de aspecto tridimensional de gran utilidad para la detección de alineamientos tectónicos y estructuras anulares de origen diverso, muchas de las cuales se asocian con paleo-estructuras volcano-tectónicas (Fig. 2).





**Fig.1. Montaje georreferenciado de las imágenes compuestas en falso color (en este caso los canales 1, 4 y 5) de las tres escenas del Landsat 7, disponibles para el territorio de Cuba Oriental.**

Se utilizaron los esquemas de fotointerpretación en formato digital del territorio de la Sierra Maestra realizados por el autor para el proyecto 223 “Teledetección y Sistematización de Estructuras Paleovolcánicas de Cuba Sudoriental” (Pérez Aragón R. O., 2001), los cuales se volcaron sobre la imagen georreferenciada, realizando las correcciones pertinentes de las deformaciones resultantes de la proyección cónica de las fotos aéreas.



**Fig. 2. Pseudo-imagen “shadow” obtenida mediante filtrado del modelo de elevación digital MED a escala 1:10 000.**

Se realizó la interpretación a ciegas de los diferentes elementos geólogo-tectónicos sobre las imágenes obtenidas directamente sobre la pantalla utilizando las herramientas del sistema AutoCAD Map 2000, y posteriormente se superpusieron los mapas de segmentos del levantamiento geológico de Nagy, et al (Nagy, E. et. al., 1975), por ser el único existente para todo el territorio, a fin de comparar, validar y nominar los polígonos fotointerpretados, dándose siempre la prioridad a estos últimos en el caso de no coincidencia y rectificándose los contornos coincidentes por la imagen, eliminando los que no se observan y agregando los fotointerpretados, no existentes anteriormente. Vale señalar que numerosos cuerpos pequeños mapeados con anterioridad a veces no se observan en los materiales utilizados, aunque fue posible detectar la mayoría de ellos y corregir su posición y sus contornos, generalmente desplazados y generalizados.





## RESULTADOS

Para el territorio de Cuba Oriental, como ya se había determinado primeramente en Pinar del Río, y luego en la Isla de la Juventud, se corroboró que la combinación de composiciones en falso color de imágenes espaciales multiespectrales obtenidas a partir de los canales 1, 4 y 5 (primer lugar en el "Ranking OIF") colocadas respectivamente en los filtros Azul (B), Rojo (R), y Verde (G) (Drury S. A. 1987), ofrecían una información más completa e integral para los propósitos de la cartografía geólogo-estructural.

Como resultado de los trabajos realizados el Pinar del Río y la Isla de la Juventud (Pérez Aragón R. O., 2004) se logró establecer una serie de patrones de interpretación que fueron extrapolados con éxito y con muy pocas variaciones en los territorios de Cuba Oriental, aunque en esta última región también la segunda combinación del "Ranking OIF", los canales 1, 4 y 7 (en R, G y B respectivamente) refleja de forma excepcional los cuerpos aflorados de rocas intrusivas, así como alineamientos anulares y lineales interpretados como estructuras de origen volcano-tectónicas y tectónicas (Figs. 3 y 4).

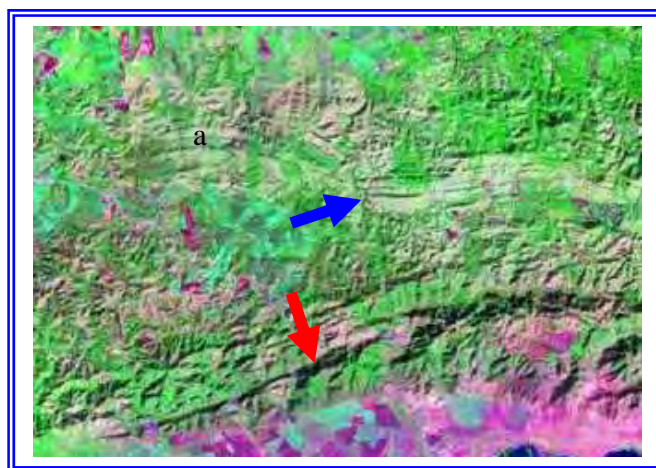


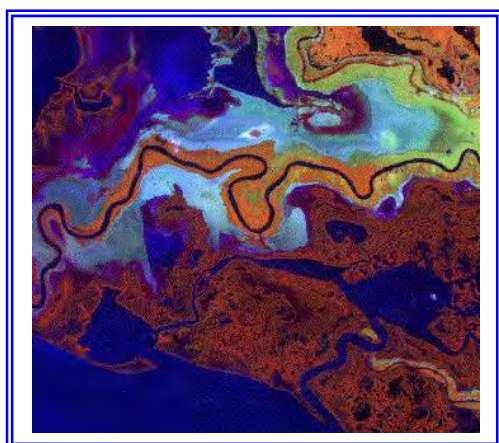
**Fig. 3.** Imagen FCC 1-4-7, donde se reflejan en tonos de rosado y rojo las rocas de cuerpos intrusivos ácidos y una estructura anular de posible origen volcano-plutónico, bien marcada en el relieve (saeta roja) al sur de la Sierra Maestra.

**a**

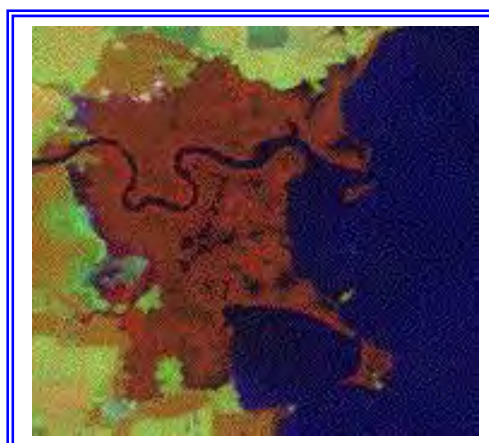
**Fig. 4.** Gran alineamiento transversal (saeta roja) interpretado en la zona de Pílon como un posible sobrecorrimiento.

Obsérvese que en general se observan bien los diferentes elementos tectónicos de carácter plicativo (a) y disyuntivo (saeta azul).





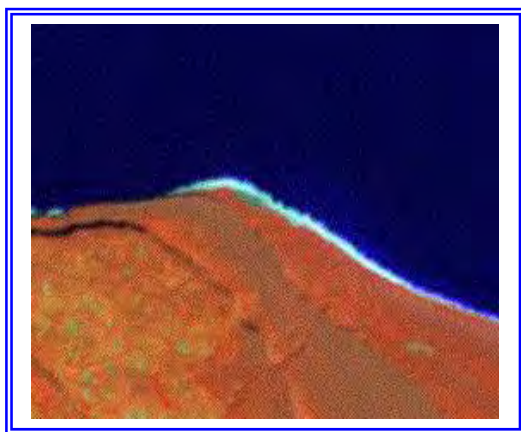
a



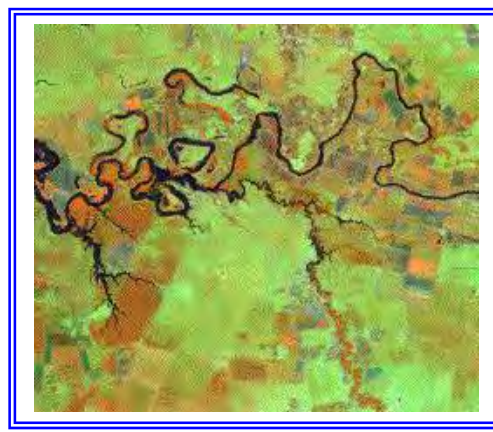
b

**Fig. 5.** Imagen de los depósitos palustres con vegetación de manglar en la desembocadura del Cauto (a) y al oeste de la Bahía de Nipe (b), donde aparecen en contacto con sedimentos cuaternarios de la Fm. Jaimanitas, cubiertas por vegetación de cultivos.

En las imágenes FCC, obtenidas por superposición de los canales 1-4-5, la combinación de los valores de reflectancia espectral, convenientemente resaltados por los filtros RGB, hace que los sedimentos cuaternarios de origen palustre-costero se destaquen por el tono marcadamente rojizo, a veces con matices violáceos, de la vegetación de manglares que en ellos se desarrolla, así como es fácil distinguir el contorno azul oscuro a negro de las pequeñas y grandes lagunas y esteros que en ellos abundan (Fig. 5); los sedimentos marinos resaltan por el tono blanquecino de las arenas, incluso en las áreas sumergidas de poca profundidad, las cuales toman una tonalidad azul claro característica (Fig. 6); los sedimentos aluviales que conforman los valles fluviales también son fácilmente separables por su microrrelieve liso y su coloración naranja-rojiza a verdosa en dependencia de los diferentes tipos de cultivo o vegetación asociados (Fig. 7).



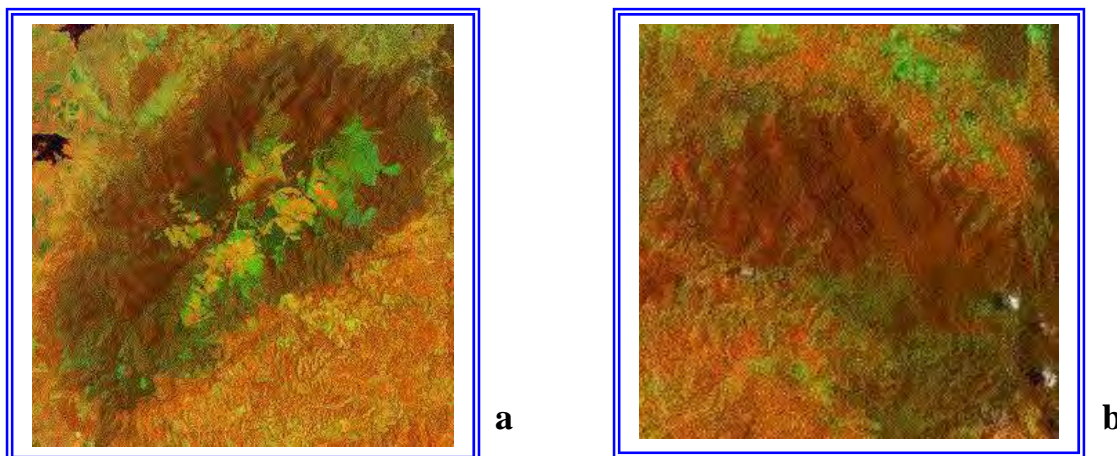
**Fig. 6.** Segmento de costa del extremo nororiental donde los depósitos marinos conforman una playa y aparecen con un tono blanco.



**Fig. 7.** Sedimentos aluviales en los valles fluviales del Río Cauto, se separan por su microrrelieve liso y su coloración naranja-rojiza, a veces verdosa en los lugares donde se cubren por diferentes tipos de cultivo o vegetación asociados.



Las áreas de desarrollo de las rocas ultrabásicas se destacan generalmente bien de las rocas circundantes por los tonos verde-azulados o grises generalmente oscuros, de un aspecto moteado, con manchas de color marrón en las áreas de corteza de intemperismo cubiertas generalmente de pinares (Fig. 8).

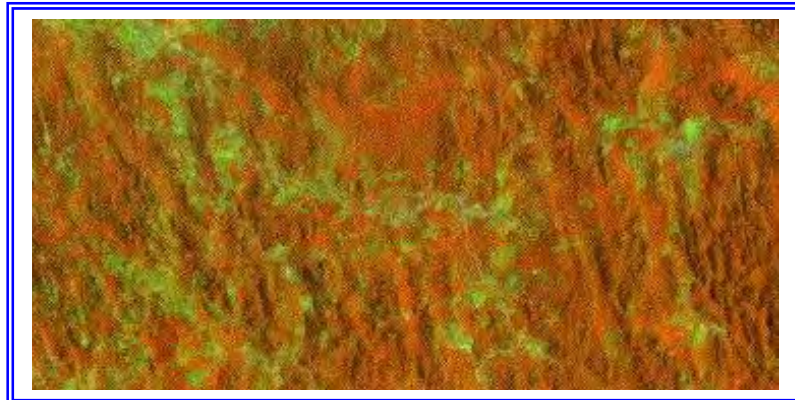


**Fig. 8. Áreas de desarrollo de rocas ultrabásicas en Cuba Oriental. a- Macizo Pinares de Mayarí; b- Macizo Sierra Cristal. Se destacan generalmente bien de las rocas circundantes por los tonos verde-azulados o grises generalmente oscuros, de un aspecto moteado, con manchas de color marrón (a) en las áreas de corteza de intemperismo cubiertas generalmente de pinares.**

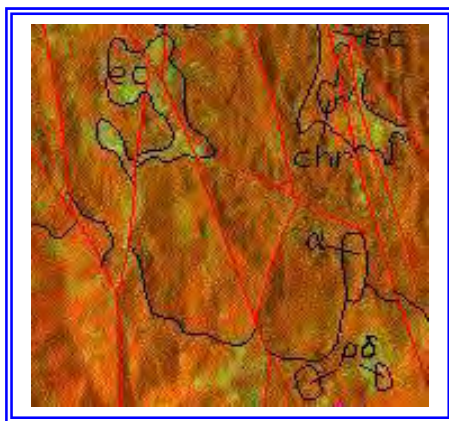
Las rocas carbonatadas con o sin desarrollo del carso, generalmente cubiertas de exuberante vegetación arborescente y arbustiva, se destacan bien por sus formas características del relieve, generalmente positivo, accidentado en el primer caso o masivo en el segundo, pero con tonos rojizos y parduscos fuertes, tal es el caso de las formaciones cársicas, como es el caso de la Formación Charco Redondo (Fig. 9). Esta formación, con patrones de agrietamiento rectangular bien reproducidos por el drenaje superficial, posee límites generalmente contrastantes con las rocas circundantes de composición terrígena y otras extensiones de terreno de relieve más bajo y marcados generalmente por redes de drenaje de tipo dendrítico de mayor o menor densidad. Con frecuencia, como resultado de la erosión por las grietas se forman valles intramontanos donde quedan expuestas las rocas subyacentes (Grupo El Cobre) (Nagy, E. et. al., 1975) Se realizaron diferentes, clasificaciones supervisadas y no-supervisadas de las mismas para resaltar los contrastes entre diferentes tipos de litologías, que pudieran ayudar a la cartografía de límites litológicos y/o tectónicos, obteniéndose resultados mucho más limitados debido a la gran capacidad de apantallamiento de la cobertura vegetal desarrollada sobre la mayor parte del territorio y a la ausencia de mapas litológicos de referencia para la selección de las muestras de entrenamiento para las clasificaciones.

El uso de las imágenes georreferenciadas en Autocad, ofrecen un doble efecto al permitir el trazado directo y exacto de los contornos y límites de las diferentes pequeñas y grandes estructuras en toda su extensión y sinuosidad (Figs. 10a y 10b), evitando el subjetivismo de las interpolaciones entre puntos de observación o muestreo, utilizado en el mapeo convencional, asegurando al mismo tiempo una mayor precisión de la ubicación espacial de los mismos (Fig. 11), gracias a la mayor exactitud planimétrica de la base georreferenciada en el mismo sistema de coordenadas planas de los mapas finales a escala 1:100 000, los cuales son confeccionados y editados directamente sobre estas imágenes georreferenciadas, lográndose que los errores de desplazamiento de los diferentes límites y puntos, con respecto a las bases topográficas digitales de dicha escala confeccionadas por GeoCuba sean insignificantes, por no decir despreciables.

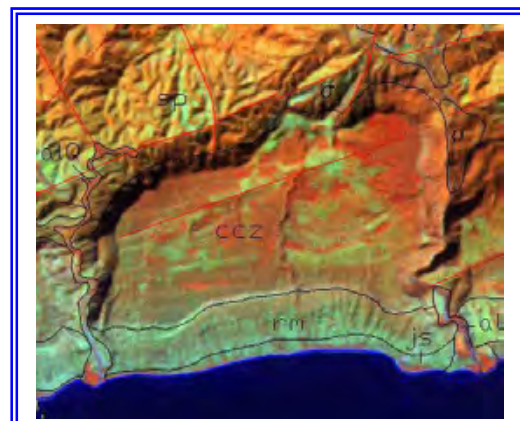




**Fig. 9. Rocas carbonatadas con desarrollo pronunciado del carso de la Formación Charco Redondo, generalmente cubiertas de exuberante vegetación arborescente y arbustiva, se destacan bien por sus formas características del relieve, generalmente positivo y accidentado con tonos rojizos y parduscos fuertes.**



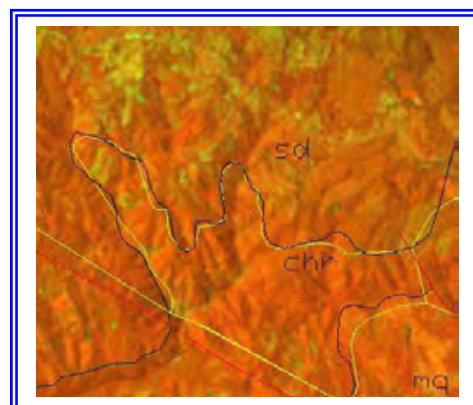
**a**



**b**

**Fig. 10. Ejemplos de fotointerpretación directa sobre una imagen en falso color georreferenciada que permite el trazado exacto de los contornos y límites de las diferentes pequeñas y grandes estructuras en toda su extensión y sinuosidad.**

**Fig. 11. Ejemplo de discrepancias entre la fotointerpretación con el uso de las imágenes satelitarias y la cartografía geológica preexistente por métodos convencionales. En amarillo se muestran los límites de un mapa geológico preexistente ejecutado por métodos pedestres tradicionales. En negro, los límites del nuevo mapa geológico a escala 1:100 000.**





## CONCLUSIONES

La introducción del uso de las imágenes satelitarias en la cartografía geológica moderna es una herramienta de la cual no se debe prescindir, ya que la misma contribuye, quizá como ningún otro medio, a la ejecución de mapas cualitativamente superiores a los realizados por los métodos tradicionales. Estas mejoras se manifiestan en dos aspectos fundamentales:

- La obtención de una información geológica mucho más verídica y exacta, debido a la excelente diferenciación por contraste de tonalidades, relieve, micro-relieve, patrones de drenaje y agrietamiento de las imágenes compuestas en falso color de los diferentes complejos lito-estratigráficos.
- La ubicación espacial más exacta de los diferentes límites al ser trazados y corregidos directamente sobre imágenes georreferenciadas, lo cual permite su trazo a lo largo de toda la extensión de las estructuras, evitando la subjetividad del método de extrapolación, lo cual garantiza la obtención de hasta ahora, una inmejorable precisión de la ubicación espacial de las diferentes estructuras geólogo-tectónicas.

La utilización del modelo digital del terreno y las imágenes obtenidas mediante su procesamiento, permiten contar con una herramienta adicional de gran utilidad en la detección de alineamientos tectónicos y estructuras anulares, así como para la precisión de la ubicación espacial de las mismas.

La interpretación estereoscópica de las fotografías aéreas a escalas 1:62 000 y 1: 37 000 permiten esclarecer en muchos casos detalles específicos de las estructuras determinadas en las imágenes de cobertura regional.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda incluir en la metodología utilizada para la generalización y actualización, así como el todo trabajo de cartografía geológica, el uso de las imágenes satelitarias y el modelo de elevación digital, a fin de garantizar la introducción de las mejoras que las mismas brindan en la cantidad y calidad de la nueva información geo-tectónica, como en la precisión de la ubicación espacial de los diferentes contornos de las estructuras y formaciones geológicas y la reducción de los plazos de ejecución y los costos de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bakker, W. H. et al. (2001). "Principles of Remote Sensing" ITC, Enschede, The Netherlands.
- Drury S. A. (1987). "Image Interpretation in Geology" Allen and Unwin. London, U. K.
- Floyd F. Sabins, JR. (1978). "Remote Sensing. Principles and Interpretation". W. H. Freeman and Company. New York, USA.
- Nagy, E. et. al. (1975). "Informe del Levantamiento Geológico a escala 1:100 000 de la Provincia de Oriente". Academia de Ciencias de Cuba y Academia de Ciencias de Hungría, IGP.
- Pérez Aragón R. O. et al (2001). "Teledetección y Sistematización de Estructuras Paleovolcánicas de Cuba Sudoriental". V Congreso Cubano de Minería y Geología, Memorias. Publicación Digital. ISBN: 959-7117-11-8.
- Pérez Aragón R. O. (2004). "Ventajas del Uso de las Imágenes Landsat 7 en la Cartografía Geológica Digital en los Ejemplos de Pinar del Río e Isla de la Juventud". X Convención Internacional Informática 2004, Memorias. Publicación Digital. ISBN: 959-237-117-2



# APLICACIÓN DE LA ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL A LA EXPLORACIÓN PETROLERA EN CUBA.

**J. Fernández Carmona. J. Hernández León.**

***Dirección de Exploración. Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington entre Vía Blanca y Churrua. Cerro. Ciudad de La Habana, [josef@ceinpet.cupet.cu](mailto:josef@ceinpet.cupet.cu)***

## RESUMEN.

El presente trabajo tiene como principal objetivo establecer un modelo deposicional para los sedimentos sinorogénicos que actúan como sello (Fm. Vega Alta, del Eoceno Inferior) y como potenciales reservorios de petróleo (Fm. Canasí, de edad Paleoceno), tomando como ejemplo el yacimiento Canasí.

La metodología utilizada es el análisis de la Estratigrafía secuencial como génesis de los estratos, relacionados a ciclos de tercer orden de cambios eustáticos del nivel del mar.

Se reconocen los siguientes ambientes deposicionales:

1. Cortejo de Bajo Nivel (Lowstand Wedge, LSW). Caracteriza la parte más alta de la Fm. Vega Alta, constituida por conglomerados polimícticos de edad Eoceno Inferior parte baja.
2. Sección Condensada de menor orden: En la parte más baja de la Fm. Vega Alta, constituida por pedernales y arcillas de edad Eoceno Inferior, parte basal. Divide ambos cortejos sedimentarios.
3. Lowstand System Tracts (LST): Para los sedimentos de la Fm. Canasí, constituida por conglomerados y grauvacas calcáreas con matriz de cretas, las que tienen edad Paleoceno.

La base del LSW coincidente con el tope del LST es una superficie condensada de menor orden, donde hay un abrupto incremento en la profundidad del agua y que está presente en la mayoría de los pozos del yacimiento

Los sedimentos sinorogénicos de la Fm. Canasí, presentan una baja diversidad en la fauna, que correlaciona con eventos anóxicos globales, con un incremento de la materia orgánica en las rocas. El kerógeno es rico en materia orgánica "tipo alginita" y es termalmente inmaduro.

## ABSTRACT

In this paper, the main object is the establishment of a depositional model for the sinorogenic sediments that belong to the seal unit and the reservoir, with the example of the Canasí Oil Field, Cuba.

Was used the Sequence Stratigraphy method, that relate the genesis of the sedimentary beds with the cycles of eustatic changes of the sea level.

Were recognized the follow depositional environments:

1. Lowstand Wedge (LSW). Related with the uppermost part of Vega Alta Fm., with Lower Eocene aged polymictic conglomerates.
2. Condensed Section. Related with the clays and cherts of the lowermost part of Vega Alta Fm.
3. Lowstand System Tract (LST). Related with the Paleocene aged calcareous greywacke and conglomerates from the Canasí Fm.

The bottom of the LSW that coincide with the top of LST is a minor order condensed surface, with a sharp increase of sea level.

## INTRODUCCION.

Las técnicas de Estratigrafía Secuencial para el análisis estratigráfico ha producido un avance sustancial en el modo de analizar el relleno y evolución de las cuencas sedimentarias. El principal aporte lo ha sido indudablemente el hecho de considerar el registro sedimentario como constituido por sucesiones genéticas relativamente concordantes, limitadas por superficies de discontinuidad, las cuales tienen un sentido cronoestratigráfico.





El presente trabajo tiene como principal objetivo establecer un método deposicional a partir de la Estratigrafía Secuencial para los sedimentos sinorogénicos que actúan como sello (Fm. Vega Alta, del Eoceno Inferior) y como reservorios potenciales de petróleo (Fm. Canasí, de edad Paleoceno), tomando como ejemplo el yacimiento Canasí, perteneciente a la Franja Norte de Crudos Pesados de la República de Cuba.

Para el desarrollo del sistema deposicional son considerados los ciclos eustáticos de tercer orden, para explicar la génesis de los estratos y su distribución.

La aplicación de la Estratigrafía Secuencial demuestra que la distribución de las facies está relacionada con cortejos sedimentarios (*System Tracts*) e intervalos de cambios relativos del nivel del mar.

Los sedimentos de edad Paleoceno de la Fm. Canasí, son carbonatos que se desarrollaban de acuerdo con mecanismos de deposición similares a los que ocurren en los sedimentos siliciclásticos.

## **MATERIALES Y METODOS**

Los datos principales utilizados en este análisis corresponden a las muestras lavadas de cuttings y ditches de los pozos perforados en el área de Canasí, así como los núcleos cortados en los pozos Canasí 2 y 14.

Para su realización, fueron consideradas las descripciones detalladas de la litología, los comportamientos de los registros geofísicos, la interpretación del paleoambiente, la paleobatimetría, abundancia y recurrencia de especies (Bioestratigrafía de alta resolución), identificación de facies transgresivas y regresivas y la definición de los cortejos sedimentarios.

En el área de Canasí, la sísmica hasta el momento no es suficientemente resolutive como para delimitar con seguridad truncaciones y otros fenómenos, por lo que no fue utilizada para el análisis de secuencias y las principales discordancias.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Modelo Depositional.**

Los pozos perforados en el área de Canasí tienen una inclinación aproximada de 70° hasta llegar al reservorio, donde se horizontalizan hasta los 90°. Las unidades litoestratigráficas de interés petrolero en el modelo deposicional son las siguientes: a) Fm. Canasí, del Paleoceno y b) Fm. Vega Alta, de edad Eoceno Inferior.

### **Reservorio: Fm. Canasí, de edad Paleoceno.**

Para una mejor comprensión del modelo deposicional en el tiempo debemos analizar primeramente los sedimentos correspondientes al reservorio, referidos a esta unidad.

Estos se formaron producto de una caída del nivel del mar donde se depositan brechas, conglomerados y grauvacas calcáreas, lo que indica una secuencia de tipo *coarsening up*, donde se desarrollan secuencias progradantes.

Esta caída del nivel del mar se asocia con el límite de secuencias del tipo 1, lo cual origina una deposición conjunta de sedimentos de aguas someras y profundas, como es el caso del hallazgo de polen y esporas de los géneros *Spiniferites sp.*, *Eodadopyxis sp.* y foraminíferos planctónicos de los géneros *Morozovella sp.* y *Acarinina sp.* así como del nannopláncton calcáreo de los géneros *Discoaster sp.*, *Sphenolithus sp.* y *Braarudosphaera sp.*



Consecuentemente con esa caída del nivel del mar se observan microfósiles retrabajados del Campaniano-Maestrichtiano, erosionados de su hábitat en la plataforma y el talud, que indican el origen de la transportación

Durante períodos de caída relativa del nivel del mar hay deterioros del hábitat nerítico que correlacionan con episodios de endemidad y extinciones de la biota marina, o sea, poca diversidad y abundancia.

La baja diversidad en la fauna correlaciona con eventos anóxicos globales con un incremento de la materia orgánica amorfa “tipo alginita”(Van Helden, 2003).

Los sedimentos de la Fm. Canasí se formaron en un cortejo de bajo nivel (LST), controlados por la distribución de canales submarinos mediante el mecanismo de flujos gravitatorios, que originan las turbiditas y el relleno de los “*incised valleys*”.

En la actualidad existe otro modo de explicar el origen de los sedimentos clásticos en cuencas sedimentarias tectónicamente activas que no pueden ser analizadas utilizando los modelos convencionales. Las facies que integran capas gradadas van de conglomerado a arcilla, pasando por diferentes espesores de areniscas, permiten interpretar que fueron generadas por flujos hiperconcentrados corriente abajo, que dan como resultado final corrientes de turbidez de alta densidad. Durante el tránsito de estos flujos, la erosión submarina puede incorporar y transportar hacia las zonas más profundas un volumen importante de sedimentos de granos de variados tamaños y fragmentos de microfósiles acumulados durante la sedimentación.

En el área Canasí se observa esta gradación de conglomerados hasta grauvaca calcáreos, con contenidos diferentes de matriz de creta y de pedernal.

Después de este mecanismo de formación basado en las fluctuaciones del nivel del mar o el señalado anteriormente, tuvo lugar la tectónica en el yacimiento Canasí y es como en la actualidad se identifican en los cortes de tiempo las principales secuencias sísmicas.

Los ciclos de variaciones eustáticas constituyen un campo de investigación futura a afrontar, mediante estudios estratigráficos, sedimentológicos y estructurales de detalle llevados a cabo sin modelos geológicos preconcebidos.

#### **Sello: Formación Vega Alta de edad Eoceno Inferior parte basal.**

Esta unidad litoestratigráfica, bien conocida en la Franja Norte de Crudos Pesados de la República de Cuba, constituye el sello regional de los depósitos gasopetrolíferos.

Está constituida por conglomerados polimícticos con intercalaciones de claystone y grauvacas de edad Eoceno Inferior basal, con abundantes especies del micropláncton calcáreo donde se destacan los grupos de foraminíferos planctónicos y el nannopláncton calcáreo (*Discoaster sp.*, *Sphenolithus sp.* y cocolitos), macroforaminíferos y abundantes foraminíferos bentónicos pequeños de diferente paleobatimetría, como es el caso de *Pararotalia sp.*, *Alabimina sp.* y *Gyroidina sp.*, y abundantes fósiles retrabajados.

Estas características litológicas y bioestratigráficas indican que los depósitos de la Fm. Vega Alta se formaron también en un cortejo de bajo nivel, pero en una posición diferente en la secuencia que es conocida como “*Lowstand wedge*” (LWS).



El LSW se inicia con una subida del nivel del mar, seguida de una rápida caída. Comprende parasecuencias progradacionales y agradacionales. Presenta características muy similares al cortejo de alto nivel.

La parte distal del LSW tiene abundantes fósiles planctónicos en arcillas hemipelágicas que Sobreyacen los depósitos de abanico.

Entre el LSW y el cortejo de bajo nivel se observa una sección condensada de menor orden, donde hay un máximo de contenido de arcilla e incremento en la profundidad del agua. La roca se ha denominado *radiolarita cretosa*, la cual es friable, de color pardo oscuro y está muy impregnada, con porosidad móldica con petróleo. En ditches se observan cocolitos y abundantísimos fragmentos de radiolarios partidos.

Entre los fósiles guía determinados están: *Morozovella formosa*, *Acarinina pentacamerata*, *Globigerina sp* y granos de polen y esporas.

Dicha sección condensada, que divide ambos cortejos sedimentarios está presente en los pozos Canasí 1 (1770-1940m), Canasí 2 (1755-1850m), Canasí 3 (1890-2025m), Canasí 5 (2050-2100m) y Canasí 7 (1910-2000m).

Estos depósitos presentan una resistividad baja, alta porosidad, gamma con valores medios, el torio y el potasio se separan y el PEF es bajo.

### **Reconstrucción preliminar de la cuenca sedimentaria.**

Los autores consideran que la deposición de las rocas del reservorio hacia la cuenca ocurrió después de un levantamiento tectónico de las rocas de la UTE Placetes, lo cual guarda relación con el modelo geodinámico establecido para Cuba (Tenreyro, 1993). Esta deposición se originó por deslizamiento producto de una caída relativa del nivel del mar (regresión), en un cortejo de bajo nivel, lo que permitió el transporte de clastos de diversas dimensiones de la mencionada UTE en dirección a la cuenca. Es por ello, que dentro de la misma secuencia encontramos primeramente, conglobrechas calcáreas, con clastos de diferentes génesis y edad, más adelante conglobrechas intercaladas con grauvacas calcáreas y finalmente pedernales intercalados con cretas y grauvacas calcáreas. Esto indica que los clastos de mayores dimensiones se segregaron al inicio, en tanto que el resto del flujo continuará el viaje hacia el interior de la cuenca, como puede comprobarse al determinar al final de la secuencia los pedernales con cretas y otras rocas intercaladas.

En el caso del yacimiento Canasí, encontramos hacia el Oeste una amplia sección en la entrada del reservorio, integrada por facies muy ricas en pedernales (situada entre la litofacies de conglobrecha calcárea y la de Conglobrecha + Grauvaca calcáreas, pozos Canasí 6, 14, 7, 8 y 9. Por su posición muy meridional, estas litofacies parecen contradecir lo expresado en el párrafo de arriba, o sea, la presencia de pedernales en las secciones proximales de la cuenca, más cercanas a la costa, cuando éstos deberían encontrarse mucho más al norte, en las zonas distales de la cuenca. Por la naturaleza de estos pedernales, estimamos que su abundancia en esta parte de la sección del reservorio responde a razones relacionadas con la proveniencia, siendo tales rocas resultado de las características que tuvo la zona de aporte de sedimentos hacia el Oeste de Canasí. En esta área es más fuerte la influencia de sedimentos aportados por la Fm. Carmita, rica en pedernales.

Posteriormente a la deposición de las rocas del reservorio comienza una subida relativa del nivel del mar, donde se depositan las secuencias arcilloso-silíceas de la Fm. Vega Alta, sello regional de estos yacimientos.

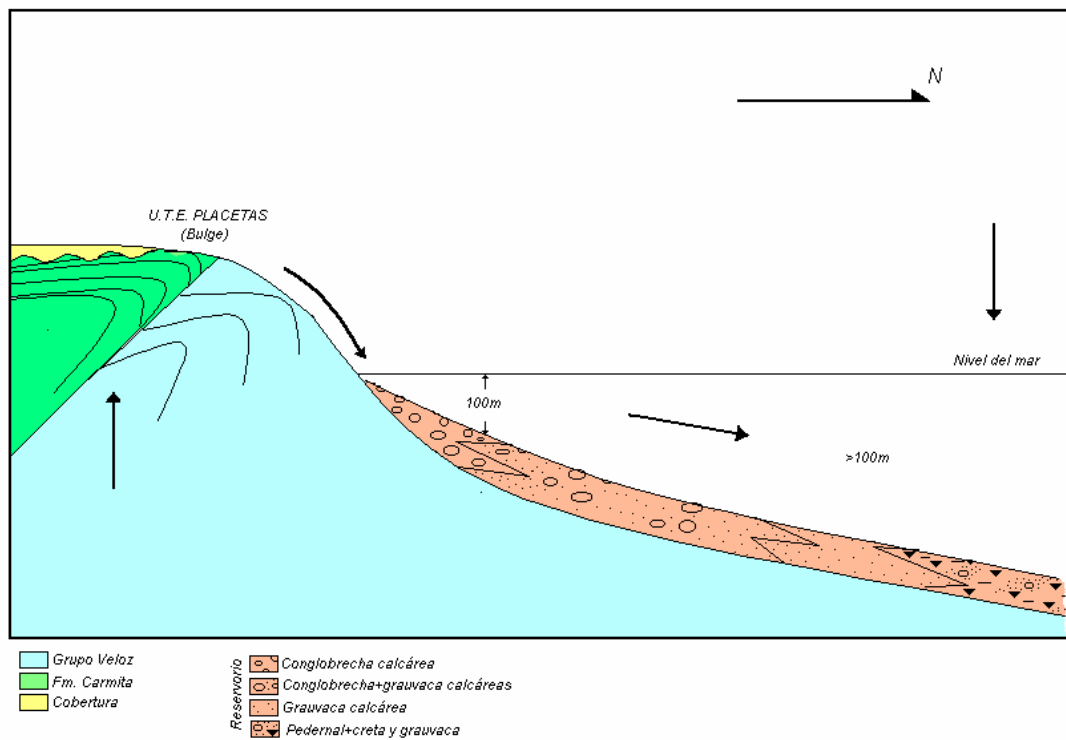


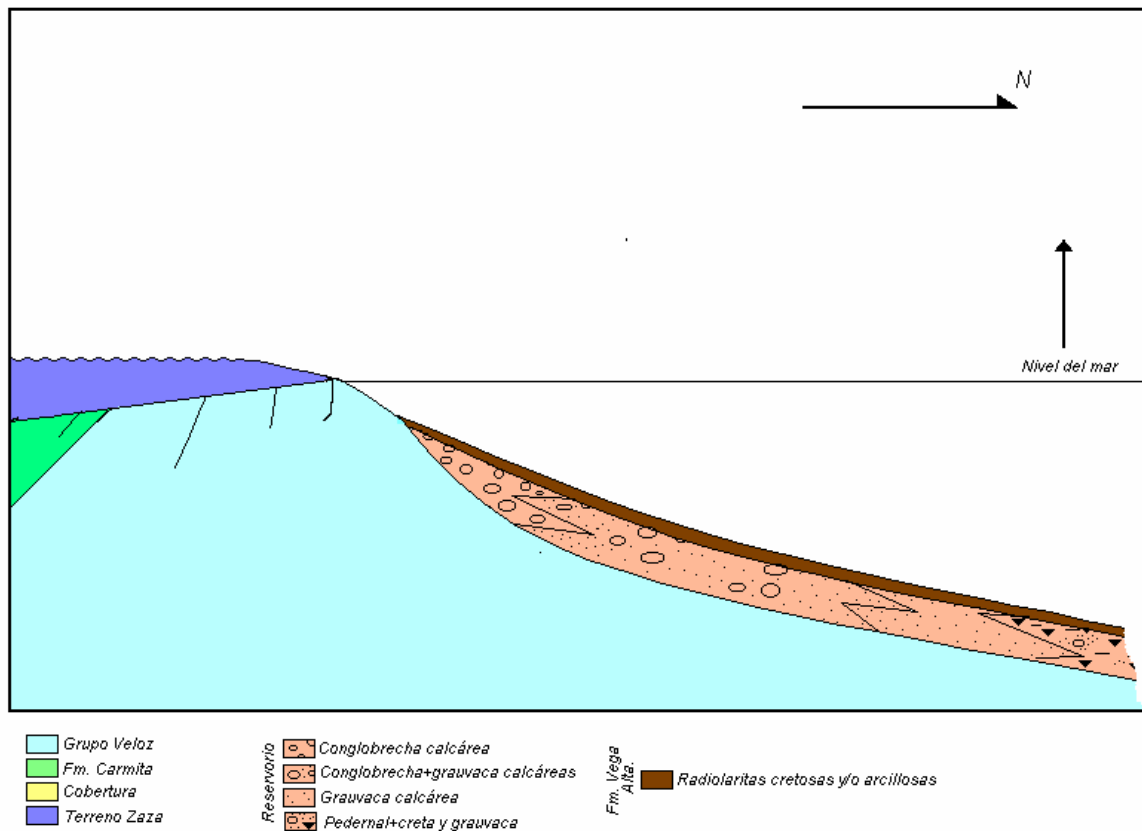
Esta deposición ocurrió también en un cortejo de bajo nivel, pero de tipo “de cuña” (LSW), bien diferenciado en la abundancia y diversidad de fauna, la litología, el comportamiento de los registros geofísicos y la edad.

## CONCLUSIONES.

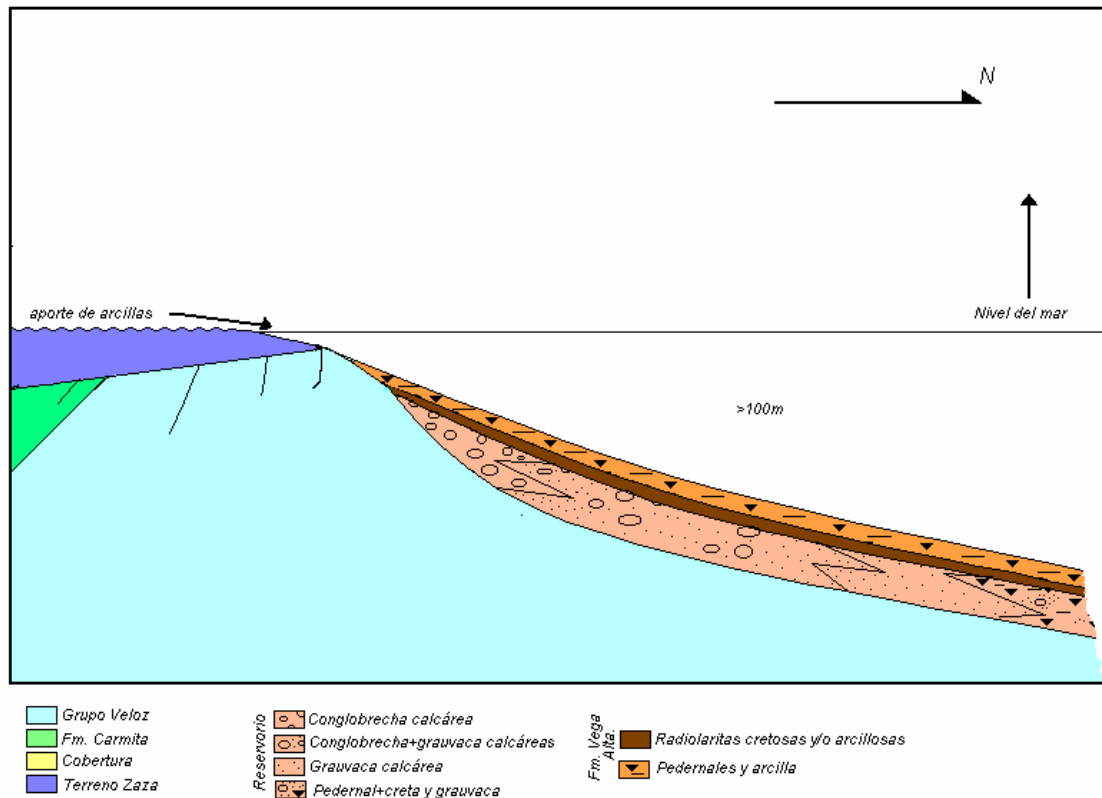
1. Se establece el modelo deposicional para el sello (Fm. Vega Alta) y el reservorio (Sedimentos Sinorogénicos, unidad informal) en el yacimiento Canasí.
2. Se definen los cortejos sedimentarios dentro de las secuencias, que son: Cortejo de Bajo Nivel de Cuña (LSW), para la Fm. Vega Alta y Cortejo de Bajo Nivel (LST), para la Fm. Canasí.
3. La base del LST, coincidente con el tope del LST, es una superficie condensada de menor orden, donde hay un abrupto incremento en la profundidad del agua y que está presente en la mayoría de los pozos del yacimiento.

**Modelo de sedimentación de la cuenca en el Paleoceno Superior, al sedimentarse las secuencias del reservorio (Modificado según F. Chistiansen, 1977).**

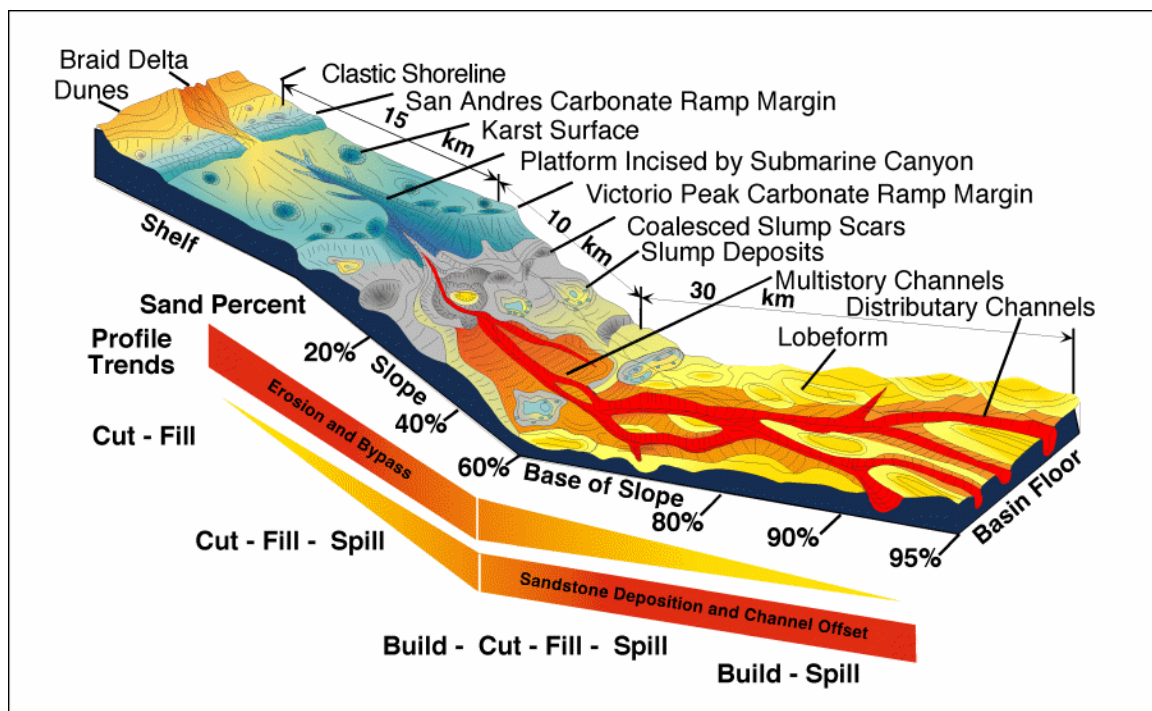




**Modelo de sedimentación de la cuenca en la parte más baja del Eoceno Inferior, al sedimentarse las secuencias de la sección condensada (radiolaritas cretosas) (Modificado según F. Chistiansen, 1977).**



Modelo de sedimentación de la cuenca en el Eoceno Inferior, al sedimentarse las secuencias del sello regional de la Fm. Vega Alta (Modificado según F. Chistiansen, 1977).



Modelo deposicional de los Sedimentos Sinorogénicos.





*Sucesión de la sedimentación de las diferentes facies en el Cortejo de Bajo Nivel (LSST). Izquierda: Conglomerado calcáreo. Centro: "Grauvaca" calcárea con cretas. Derecha: "Grauvaca" calcárea con cretas y abundante pedernal.*

## BIBLIOGRAFIA

1. DEMAISON, G. J. and Moore, T. 1980. Anoxic Environment and Source Beds Genesis. AAPG V. 64, No. 8, pp 1179-1209, 18 figs.
2. FERNÁNDEZ CARMONA, José. *et al.* 2002. Análisis Facial del Bloque Central del Yacimiento Boca de Jaruco. Archivo Técnico CEINPET, 1999.
3. FERNÁNDEZ CARMONA, J. Hernández León, J. Castro Castiñeira, O. Schoendorfer H. 2002. Carbonate Reservoir, Tertiary Age Nannoplanktic Clacks. 2002. Informe inédito. Archivo CEINPET, La Habana, Cuba.
4. PÉREZ ESTRADA, L. Fernández Carmona J. Hernández León J. Ronda, M. 2001. Análisis Biofacial de la Formación Vega Alta, Sello Regional de la FNCP de Cuba. Informe Inédito.
5. VAIL, PETER r. Wornardt, J. 1991. An Integrated Approach to Exploration and Development in the 90's: Well Log Seismic Sequence Stratigraphy Analysis. AAPG. V. XLI, pp 630-649, 27 figs.
6. VAN WAGONER, J.C. Mitchum, K.M. Rahmanian, V.D. 1990. Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores and Outcrops. AAPG Methods in Exploration Series, No. 7, pp 1-55.
7. VAN HELDEN, B. 2003. Palynological Analysisi of Eight Selected Samples in the Canasí 9 Well, Cuba. pp1-8.



## BIOSTRATIGRAPHIA DE LOS CORALES DEL VISEENSE DE ALBORZ CENTRAL (IRAN)

Kaveh Khaksar

SCWMRI. 13445-1136 Tehran, I. R. Iran, E-mail: [khaksar\\_k@hotmail.com](mailto:khaksar_k@hotmail.com)

Las asociaciones de corales de Viseense de Alborz Central permiten caracterizar dos biozonas de asociación. Estas biozonas pueden tener valor biocronológico en la región, pero carecen de un valor biocronoestratigráfico preciso. La biocronoestratigrafía del Viseense del norte de Irán se basa esencialmente en las asociaciones de braquiópodos y de foraminíferos bentónicos. En función de estos grupos, se asignan los materiales de los perfiles estudiados al Viseense.

Pueden distinguirse dos asociaciones de corales rugosos y tabulados con un fuerte control paleoambiental. La Asociación I aparece entre los depósitos de la barrera oolítica. Esta dominada por grandes colonias de *Michelinia* y rugosos de gran tamaño como *Siphonophyllia*. La Asociación II, que se encuentra entre los sedimentos del lagoon, es una asociación empobrecida dominada por corales pequeños sin disepimentos.

Pueden distinguirse cuatro asociaciones de corales rugosos y tabulados con un fuerte control paleoambiental.

La Asociación I aparece entre los depósitos de la barrera oolítica. Esta dominada por grandes colonias de *Michelinia* y rugosos de gran tamaño como *Siphonophyllia*. La Asociación II, que se encuentra entre los sedimentos del lagoon, vuelve a ser una asociación empobrecida dominada por corales pequeños sin disepimentos.



## COMPOSICIÓN FAUNÍSTICA (VERTEBRADOS TERRESTRES) DE LA BASE DEL CRETÁCICO DE SORIA (ESPAÑA) A TRAVÉS DE SUS HUELLAS

C. Fuentes Vidarte<sup>1</sup>, M. Meijide Calvo<sup>1</sup>, F. Meijide Fuentes<sup>2</sup>, M. Meijide Fuentes<sup>3</sup>

(1) C/Almazán, 17, 42004 Soria

(2) C/ Juan Sala de Pablo 2, 42003 Soria

(3) C/ Juan Antonio Simón, 20, 42003 Soria

La gran Cuenca sedimentaria de Cameros se extiende por el NW de la Cadena Ibérica (en el sector nororiental de España) e incluye parte de las provincias de Burgos y Soria pertenecientes a la Comunidad Autónoma de Castilla y León y el sur de la Comunidad Autónoma de La Rioja.

Tuvo su máximo desarrollo en el tránsito Jurásico terminal-Cretácico inicial. Se ha dividido en dos subcuencas que incluyen cinco grupos litoestratigráficos: Tera, Oncala y Urbión en el sector occidental y dos grupos más, Enciso y Oliván en el sector oriental (Tischer, 1966).

En Soria se encuentra, dentro del grupo Oncala (Titónico-Berriasiense/Berriasiense medio, con una edad de -140 a -132 m.a.) un megayacimiento de icnitas de categoría I (Lockley, 1989) en el que hemos inventariado desde 1996 hasta la fecha, 120 afloramientos importantes, que incluyen miles de huellas de dinosaurios ornitópodos, terópodos y saurópodos, de cocodrilos, tortugas, pterosaurios y aves.

Se han nominado hasta el momento tres nuevas icnoespecies y un nuevo icnogénero de huellas de dinosaurios, un nuevo icnogénero de huellas de tortugas, una nueva icnofamilia y el icnogénero base de huellas de cocodrilos, un nuevo icnogénero de huellas de aves y seis nuevas icnoespecies de huellas de pterosaurios, que han resultado ser abundantísimas, convirtiendo esta zona de España en uno de los lugares más importantes a nivel mundial para el estudio de estos reptiles voladores a través de sus huellas.



# ESTRATIGRAFÍA, TAFONOMÍA Y PALEOECOLOGÍA DE LOS RUDISTAS EN EL TERRITORIO CUBANO

**Reinaldo Rojas Consuegra**

*Museo Nacional de Historia Natural. Obispo 61, Plaza de Armas. La Habana. CP10100. Cuba.*

*E-mail: [rojas@mnhnc.inf.cu](mailto:rojas@mnhnc.inf.cu)*

## RESUMEN

Los Rudistas fueron moluscos bivalvos marinos, de modo de vida sésil, con una concha fija al substrato, de morfología y tamaño variados. Alcanzaron su mayor desarrollo durante el Cretácico, en el dominio del mar de Tetis y su extinción ocurrió hacia el límite Cretácico – Terciario. En Cuba se devela la presencia de siete familias (Caprinidae, Polyconitidae, Radiolitidae, Hippuritidae, Plagiopthychidae, Requeniidae, Antilocaprinidae), 31 géneros y unas 49 especies; con una diversidad comparable a otros territorios del Caribe. El Mapa de distribución estratigráfica exhibe una amplia representatividad, con más de 160 localidades distribuidas en 10 provincias del país. Varias unidades litoestratigráficas, de diferentes edades, contienen fauna de Rudistas en el territorio cubano, a saber: Unidades del Margen Continental de Norteamérica (Megaplataforma Florida – Bahamas del Aptiano Inferior, Plataforma de Bahamas del Albiano Superior y Maastrichtiano), de Arcos Volcánicos (Albiano Medio - Superior, Santoniano y Campaniano Inferior- Medio), Cuencas postvolcánicas o Piggy Back (Campaniano Superior a Maastrichtiano) y del Límite Cretácico – Terciario (K/T). El estudio tafonómico revela los procesos biostratinómicos que afectaron a los Rudistas, mostrando que sufrieron diferentes causas de muerte (vulcanismo, sepultamiento, remoción mecánica, etc.); que produjeron la desarticulación de las conchas, transporte, resedimentación, biodegradación, abrasión, etc. Entre los procesos fosildiagenéticos, que influyeron sobre las conchas sepultadas, se destacan la recristalización, reemplazamiento, neomorfismo, compresión, etc; y la reelaboración tafonómica. Desde el punto de vista paleoecológico, el Coeficiente de Elevación propuesto como basamento para realizar el análisis morfométrico de los Rudistas elevadores (*elevators*), contribuye a la distinción morfológica entre taxones; y su relación con las características sedimentarias del paleoambiente que habitaron. Los resultados que se brindan son de interés para las geociencias, la docencia y el patrimonio natural de nuestro país.

## ABSTRACT

The rudists were marine bivalve molluscs, of sessile life habits, with one valve attached to the substrate and of variable shape and size. They reached their acme during the Cretaceous, in the Tethyan Realm, becoming extinct at the Cretaceous/Tertiary boundary. Seven families are recorded from Cuban territory (Caprinidae, Polyconitidae, Radiolitidae, Hippuritidae, Plagiopthychidae, Requeniidae, Antilocaprinidae), comprising 31 genus and some 49 species – a diversity comparable to that of other Caribbean areas. More than 160 localities in 10 provinces of the country provide a good record of their stratigraphical distribution, correlated through various lithostratigraphical units, viz., of the North American continental margin (Lower Aptian, Upper Albian and Maastrichtian), from volcanic arc settings (Middle-Upper Albian, Santonian and Lower-Middle Campanian) and piggyback basins (Upper Campanian to Maastrichtian), and from the Cretaceous –Tertiary boundary. Taphonomic study reveals the biostratinomic processes that affected the rudists, revealing their different causes of death (volcanism, burial, mechanical re-working etc), and resulting in the disarticulation of shells, transport, resedimentation, biodegradation, abrasion etc. The fossil-diagenetic processes that influenced the buried shells were recrystallisation, displacement, neomorphism, compaction etc., as well as taphonomic re-working. The coefficient of elevation, proposed as a basis for the morphometric analysis of elevator rudists, contributes to the morphological distinction between taxa, and its relation with the palaeoenvironmental setting. The results presented herein are of interest for the geosciences, teaching and the natural heritage of our country.



## INTRODUCCION

El término “Rudistas” se debe a J. B. Lamarck (1819), introducido...“para un grupo extraño de conchas que parecen tener alguna semejanza con los Ostráceos”. La raíz de la palabra Rudis proviene del latín toscó, rudo o rugoso; con lo cual se pretende ilustrar de algún modo lo abigarrado morfológicamente que resultan las conchas de este “especial” grupo de organismos fósiles.

Los Rudistas fueron moluscos bivalvos marinos, de modo de vida sésil, con una concha de morfología y tamaño muy variados, compuesta generalmente por dos valvas desiguales, una de las cuales estaba fija al substrato. Alcanzaron su más amplio desarrollo durante el Cretácico en el dominio del mar de Tetis y su extinción ocurrió hacia el límite Cretácico - Terciario (Kauffman y Sohl, 1974; Alencáster, 1971; Chubb, 1971).

En Cuba los Rudistas tienen una amplia distribución en los sedimentos carbonatados cretácicos.

El objetivo principal del es el de realizar una compilación crítica de la información existente sobre los Rudistas cubanos, actualizando el conocimiento de este grupo fósil con los resultados de los estudios realizados en la última década en Cuba y el Caribe.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizan fundamentalmente los materiales de las investigaciones paleontológicas relacionadas con la fauna de Rudistas cubanos, así como la información generada por las investigaciones geológicas y paleontológicas regionales llevadas a cabo en Cuba. Se hace un amplio uso de la bibliografía internacional relacionada con la temática.

Sin embargo, los resultados que se brinda en el presente trabajo son originales, obtenidos durante la ejecución de varios proyectos donde ha participado desde el año 1986, vinculado a los trabajos de levantamiento geológico 1:50 000 del territorio Ciego de Ávila – Camagüey (Empresa Geólogo - Minera de Camagüey), y en particular en el estudio de los Rudistas que en los últimos 12 años ha desarrollado como curador de Paleontología del Museo Nacional de Historia Natural. La tesis contiene también, resultados obtenidos mediante la participación del autor como Geólogo-Paleontólogo en los trabajos de generalización geológica 1:100 000 que ha realizado el Instituto de Geología y Paleontología en la década de los 90’.

El trabajo de campo se llevó a cabo en los principales yacimientos de Rudistas de todo el territorio cubano y algunos territorios del Caribe (La Española, Jamaica) y México.

Para la distinción de los tipos genéticos de carbonatos en particular, se usó la clasificación propuesta por Dunham (1962), Embry y Klován (1971), completada por James (1984).

Se realizaron cortes orientados de las conchas de Rudistas para realizar la identificación de especies y hacer observaciones sobre la relación sedimento - organismo (paleoecología), para poder determinar la relación existente entre la morfología de las conchas y el medio de sedimentación. Se confeccionaron algunos esquemas de la disposición de los Rudistas en algunos litosomas y se midieron algunos elementos para determinaciones taxonómicas y comparaciones entre especies.

A las estructuras biogénicas se ha prestado especial interés en el presente trabajo, ya que se ha tomado en cuenta el comportamiento de la fauna de Rudistas en especial, como elemento formador de roca más importante en el Cretácico, así como la fauna acompañante más conocida, principalmente macroscópica.

En el laboratorio se obtuvo una parte importante de información sobre la morfología de la concha de los Rudistas y su posible relación con el medio de sedimentación. A las muestras existentes en la colección paleontológica del MNHNCu, como a las tomadas en el campo,



se les realizaron mediciones de sus parámetros morfológicos, con la ayuda de una cinta métrica, regla y cartabón.

Además se documentaron las huellas dejadas en la concha por otros organismos (epibiontes y/o bioerosivos), los restos de sedimento o la matriz en la cual se encontraba la concha, las geniculaciones, teratologías posibles, transformaciones tafonómicas, etc.

Se establecen correlaciones estratigráficas a diferentes escalas, entre unidades litoestratigráficas a nivel de provincia y de país (escala local a regional), y a nivel de región caribeña (escala regional). Se mencionan además, las relaciones de la fauna de Rudistas americanos con la de otras provincias paleogeográficas del mundo (escala global).

Durante el procesamiento de la información los métodos matemáticos y estadísticos fueron utilizados como apoyo en la correlación estratigráfica a diferentes escalas. Con la ayuda del programa Statistica 6 se elaboró la base de datos para el análisis de Cluster de las localidades con fauna de Rudistas; dicho procedimiento también fue aplicado a los niveles estratigráficos. Se elaboraron los dendrogramas de distribución del grupo, quedando las especies separadas por asociaciones faunales, hallándose además las relaciones entre las unidades.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los Rudistas han sido un grupo atractivo dentro de la macrofauna de invertebrados, a juzgar por los numerosos autores que los han estudiado; en el caso de Cuba desde principios de los años 1900' hasta nuestros días.

### Grado de estudio de los Rudistas cubanos

La formación del conocimiento sobre los Rudistas cubanos y la situación actual de las investigaciones sobre este grupo, se divide para su evaluación en dos etapas: desde finales del Siglo XIX hasta fines del XX, y la Actualidad.

#### Finales del Siglo XIX hasta fines del XX

Desde finales del siglo XIX y principios del XX, se mencionan los Rudistas cubanos en los trabajos de Spencer (1896) y Hayes et al. (1901).

Se conoce una carta de puño y letra de Don Carlos De La Torre y Huertas, fechada en 1914, donde identifica el género de *Barrettia* en el territorio camagüeyano. Es así, que aparece su trabajo (Torre, 1915), sobre aquel hallazgo, y da comienzo al estudio de la paleontología de los Rudistas cubanos.

Una década después fueron publicados los primeros trabajos dedicados a la taxonomía del grupo. Uno por el doctor M. Sánchez Roig (1926), donde elabora el primer catálogo sistemático de los Rudistas conocidos hasta ese momento. Brinda además, las primeras descripciones taxonómicas de los Rudistas de Cuba, provenientes del Cretácico de los territorios de Camagüey y Santa Clara; donde se listan 10 taxones.

Le siguen dos trabajos de H. Douvillé (1926 y 1927), donde reportó seis nuevas especies para Cuba, identificadas a partir del material enviado por Sánchez Roig. Este autor lanza por primera vez la idea de establecer asociaciones de Rudistas de diferentes edades para Cuba, para intentar las correlaciones cronoestratigráficas entre las diferentes regiones. Douvillé (1927) distingue por primera vez cinco niveles de asociaciones faunales de Rudistas en Cuba.

El estudio de los Rudistas cubanos fue continuado por R. H. Palmer (1933), con una "descripción de los fósiles (Rudistas) pertenecientes al piso Cretácico superior de Cuba (Maastrichtiano)". Palmer describió en total 12 nuevas especies y además reportó otras tres especies. Este trabajo es un notable aporte a la taxonomía de los Rudistas, pues incluye las





especies del Santoniano procedentes de Loma Yucatán, Camagüey; dando a conocer una asociación faunal prácticamente desconocida hasta ese momento.

La más importante contribución al conocimiento taxonómico y estratigráfico de esta fauna, fue realizada por los estudiantes holandeses en la segunda mitad de la década del '30, como resultado de sus tesis de doctorado, dirigidas por el profesor Luis Martin R. Rutten, de la Universidad de Utrecht, Holanda, sobre el material de la fauna de Rudistas colectados durante su expedición (1933) en Cuba.

M. G. Rutten (1936) dio a conocer una nueva especie, pero describió taxonómicamente todo el material colectado en la parte norte de Las Villas, reportando varios taxones típicos del Campaniano, que ya eran conocidos de Camagüey.

En un primer trabajo, Thiadens (1936a) describe el material colectado en la parte sur de Las Villas. En su segundo trabajo (1936b), reportó para Cuba una nueva asociación faunal del Cretácico (Cenomaniano – Turoniano), procedente de aquella región.

En el año 1937 L. W. J. Vermunt publicó la descripción taxonómica del material recolectado en Cuba en 1933 en la provincia de Pinar del Río, donde describió seis nuevas especies y reportó otras nueve especies para esa región.

Varios trabajos de H. J. Mac Gillavry, dedicados a los Rudistas (1932, 1935, 1937), hacen referencias a las especies cubanas, pero sin dudas la obra de Mac Gillavry de 1937 es la más importante de todas las contribuciones que le preceden, y es una de las fundamentales en estos estudios del Caribe y América. Esta obra contiene una extensa revisión taxonómica de obligada consulta. Para Cuba en particular, el autor describió varias nuevas especies. Sinonimizó además, numerosos taxones ya conocidos del hemisferio occidental, relacionándolos con los europeos.

Mac Gillavry consideró las capas de *Barrettia* y de *Titanosarcolites* como pertenecientes ambas al nivel estratigráfico del Maastrichtiano.

Años más tarde, se publicaron otros trabajos del grupo holandés: Van Wessen (1943), quien incluyó en su estudio algunos Rudistas de las provincias de Camagüey y Ciego de Ávila; Keijzer (1945) trató la fauna del territorio camagüeyano y oriental; y Hermes J. J (1945) reportó y describió los Rudistas del Cretácico Inferior Albiano en Camagüey; comparables a la fauna ya reportada por Thiadens (1936b) del territorio meridional villareño.

J. F. Albear (1947) consideró, por primera vez, la fauna de Durania en las calizas de Loma de Yucatán en la provincia de Camagüey (Palmer, 1933), como un nivel estratigráfico intermedio (Campaniano); aunque actualmente esta fauna es considerada guía del Santoniano.

1951 (Mullerried): F. K. G. Müllerried (1951) utilizando la colección que le facilitó M. Sánchez Roig, describió nuevas especies de las familias de Rudistas Hipurítidos y Radiolítidos, procedentes de diferentes localidades de Cuba. Las especies que fueron propuestas han quedado sinonimizadas.

A fines de los años '50 y comienzo de los '60 fueron publicados los importantes trabajos de: L. J. Chubb, 1956; A. De La Torre, 1960 y Chubb, 1961; donde se discute apasionadamente entre ambos autores la edad de las asociaciones faunales de Cuba, Jamaica y el Caribe en general. Estos trabajos fueron muy importantes en la definición de las asociaciones de Rudistas, intentando su uso en la correlación de los territorios antillanos.

Chubb (1956) definió tres asociaciones de Rudistas en las Antillas: Fauna de *Tepeyacia* (Cenomaniano – Turoniano), Fauna de *Barrettia* (Turoniano Superior – Santoniano Inferior) y Fauna de *Titanosarcolites* (Maastrichtiano).

Torre (1960) propone cambios a las asociaciones dadas por Chubb (1956) y añade una nueva asociación, siguiendo a Albear (1947): Fauna de *Tepeyacia* (Cenomaniano –



Turoniano inferior), Fauna de *Durania* y *Vaccinites* (probablemente Campaniano Superior) y Fauna de *Titanosarcolites* (Maastrichtiano).

Chubb (1961) responde apasionadamente, redefiniendo las asociaciones faunales: Fauna de *Tepeyacia* (Cenomaniano – Turoniano), Fauna de *Durania* (posible Santoniano - Coniaciano), Fauna de *Barrettia* (Campaniano) y Fauna de *Titanosarcolites* (Maastrichtiano).

L. J. Chubb (1971) y G. Alencáster (1971) realizaron dos contribuciones fundamentales para el conocimiento de los Rudistas antillanos y caribeños. En sus obras, a partir del estudio de la literatura sobre Rudistas de Cuba, sinonimizan especies cubanas con especies de Jamaica y de México respectivamente, y reconocen la presencia de otras.

Por su lado, H. Van Dommelen (1971) realizó una amplia revisión de las especies de Rudistas de la familia de los Hipurítidos, ratificando la validez de unas especies y sinonimizando otras. Recoge un abarcador e importante análisis de la morfología y estructura de las especies americanas de Hipurítidos, y aporta en cuanto a su estratigrafía, biogeografía y filogenia.

Relacionado con los trabajos de las investigaciones y los levantamientos geológicos que se llevaron a cabo en Cuba, se retoma el estudio de los Rudistas, donde se realizaron nuevos aportes al conocimiento de la distribución estratigráfica del grupo, y en menor grado, de su taxonomía.

D. Lupu (1974, 1975) estudió la fauna de Rudistas de la provincia de Pinar del Río (sur de la falla Pinar) presentando un inventario de dicha fauna del Senoniano al Maastrichtiano.

Esta autora propone cuatro zonas estratigráficas de la fauna de Rudistas: Zona de *Bourmonia* (Campaniano), Zona de *Præbarrettia* (Maastrichtiano ?Inferior), Zona de *Antilocaprina* y Zona de *Titanosarcolites* (ambas del Maastrichtiano).

A. De La Torre, P. Jakus y J. F. de Albear (1978, 1983) hacen una reseña de los principales trabajos sobre las asociaciones de Rudistas en Cuba y el Caribe. Brindan detalles del estudio de dos localidades con Rudistas de diferentes niveles estratigráficos en las provincias de Camagüey y Las Tunas, y adicionan datos sobre la microfauna acompañante.

M. A. Iturralde-Vinent y A. De la Torre (1990) casi una década después, realizaron una actualización sobre la posición estratigráfica de la fauna de Rudistas en la provincia de Camagüey, y aportan la reconstrucción paleoambiental de las “bioconstrucciones” de Rudistas, en las diferentes edades y dominios estratigráficos cubanos.

Las asociaciones son denominadas con nombres de las especies guía y se rectifican las edades para ellas en Cuba: Fauna de *Tepeyacia corrugata* (Albiano – Cenomaniano), Fauna de *Durania curasavica* (Santoniano), Fauna de *Barrettia monilifera* (Campaniano) y Fauna de *Titanosarcolites giganteus* (Maastrichtiano).

R. Rojas, M. A. Iturralde y P. W. Skelton (1995) en los primeros años de los '90 realizaron una revisión de la estratigrafía, composición y edad de la fauna de Rudistas en Cuba, reevaluando los resultados de los trabajos anteriores a la luz del conocimiento actualizado de la geología cubana. Asumieron las asociaciones propuestas por Iturralde – Vinent y Torre (1990), y además, describieron una nueva asociación faunal de Rudistas para Cuba (Fauna de *Amphitriscoelus waringi*) de edad Aptiano Inferior.

Rojas e Iturralde - Vinent (1995) ofrecieron la lista de las especies de Rudistas cubanos y su distribución estratigráfica por unidades tectono-estratigráficas.

Se puede apreciar el desarrollo histórico del conocimiento sobre las asociaciones o faunas de Rudistas en la tabla que se brinda (Anexo 1).

#### Lista sistemática de los Rudistas cubanos

Los Rudistas aparecen en el Jurásico tardío y vivieron hasta el final del Cretácico, por espacio de cerca de 100 millones de años (Ma). La supervivencia promedio por género fue



de unos 12 Ma. y por familia de unos 48 Ma. (Nicol, 1996). Los ancestros de los Rudistas fueron probablemente los moluscos megalodóntidos del Devónico, de quienes se presupone devino la familia Diceratidae durante el Jurásico (Skelton, 1978).

Los Rudistas han sido agrupados en diez familias (Skelton, 1978; Skelton y Masse, 1998), mediante el análisis funcional de la geometría y de la anatomía reconstruida de las conchas.

En Cuba se pueden considerar siete familias (Caprinidae, Polyconitidae, Radiolitidae, Requieriidae, Plagiophychidae, Hippuritidae y Antilocaprinidae), (Anexo 2).

La lista sistemática de Rudistas reportados para Cuba es el resultado de la revisión bibliográfica de toda la literatura paleontológica cubana y de la región sobre el grupo. Además está avalada por la revisión de la colección de Rudistas depositada en el MNHN, la cual cuenta con más de 500 ejemplares, incluyendo varios Tipos, Parátipos, así como especies figuradas.

El principal objetivo de la lista es la presentación de un instrumento útil para establecer las relaciones geológicas entre los diferentes terrenos de la región caribeña, y aportar al incremento del conocimiento estratigráfico de Cuba. Como base tiene la ofrecida por Rojas e Iturralde-Vinent (1995), con los cambios taxonómicos que se derivaron de la revisión bibliográfica.

### **Contexto geológico y litosomas de Rudistas**

Por su biodiversidad, su distribución estratigráfica y geográfica, los Rudistas ocupan el segundo lugar en nuestro territorio dentro de la macrofauna de invertebrados cretácicos, a pesar de ello, su uso como fósiles guías ha permanecido limitado.

Stössel (1999) asume el término litosoma de Rudistas (Gili, 1992) para rocas con significativas asociaciones autóctonas de Rudistas, pero aclarando, que sin implicaciones de forma, medida o fábrica interna de las unidades sedimentarias. Siguiendo este sentido es usado dicho término en el presente trabajo, conjugado con el genérico y generalizador de carbonatos, que durante el Cretácico tuvieron como su principal fuente de aporte a los biodetritos derivados de los litosomas de Rudistas, dando lugar a la formación de significativas acumulaciones secundarias.

### **Mapa de las localidades con Rudistas**

El mapa de localidades con fauna de Rudistas (más de 160 puntos) se elaboró a escala 1:1 000 000, dividido por provincias. Esta constituye una base importante para mostrar la distribución estratigráfica del grupo en el territorio cubano. Se distinguen los diferentes niveles estratigráficos, de acuerdo a la edad de la formación geológica que contienen las distintas faunas de rudistas, evidenciándose la biocorrelación local y regional (ej. Provincia de Camagüey; Anexos 3 y 4).

### **Unidades geológicas con litosomas de Rudistas**

El presente acápite, se basa en el modelo geológico de Iturralde - Vinent (1998), ligeramente simplificado, pues se presta atención sólo a las unidades con las que se encuentra relacionada la fauna de Rudistas en Cuba. En cada una de ellas se brinda el listado actualizado de la fauna de Rudistas que contienen, asignándose entre paréntesis la edad que ella indica.

La información básica sobre las unidades litoestratigráficas descritas fue tomada del Léxico Estratigráfico de Cuba (IGP) (Franco *et al.* 1992).

En el sustrato plegado se distinguen unidades de naturaleza continental, formada por parte del bloque Estrecho de la Florida (Megaplataforma Florida – Bahamas, Plataformas de Bahamas), los terrenos Guaniguanico y Escambray y el Terreno Pinos; unidades de naturaleza oceánica, incluyendo las ofiolitas septentrionales, los terrenos de Placetas, la corteza oceánica infra - arcos volcánicos, los sistemas de arcos volcánicos y las cuencas posvolcánicas y de antepaís.



### *Megaplataforma Florida – Bahamas*

Sobre el bloque Estrecho de la Florida se desarrolló la llamada Megaplataforma de Florida – Bahamas, activa aún durante el Aptiano temprano, cuando se estableció una primitiva fauna de Rudistas en el Tetis americano. Es una de las plataformas que evolucionó en el Protocaribe occidental (Kimmerigdiano – Aptiano), y que yace sobre el bloque Estrecho de la Florida.

En esta zona afloran dolomitas grises masivas de cristales gruesos, cubiertas por calizas lagunares y de rampa carbonatada con Rudistas (Rojas *et al.*, 1995), que abarcan como mínimo del Hauteriviano al Aptiano inferior.

Formación Gibara (N. E. Weisbord, 1928)

Rudistas: *A. waringi*, *P. paradoxa*, *C. douvillei* y *O. cf. interrupta* (Aptiano Inferior).

Los Rudistas aparecen como individuos independientes, de forma abundante, en calizas biodetríticas (grainstone), con tonalidades de cremas a blancas. El espesor de la capa con Rudistas es solamente de algunas decenas de centímetros.

### *Plataforma de las Bahamas*

Entre el Aptiano y Albiano ocurrió la fracturación y desmembramiento de la Megaplataforma Florida - Bahamas en unidades menores, diferenciándose varias plataformas pequeñas, separadas por canales de aguas profundas, las cuales fueron denominadas como Plataformas de las Bahamas.

La Zona de Remedios, aparece al sur de la zona Cayo Coco. En los cortes típicos de Remedios dominan las calizas y dolomías, entre las que se encuentran más comunes las facies de ambiente de laguna, donde abundan las algas calcáreas, los foraminíferos de conchas aporcelanadas y arenáceas, los ostrácodos y algunos moluscos. Aunque más limitados, se han descubierto litosomas de Rudistas del Albiano, Cenomaniano? y del Maastrichtiano (Iturralde-Vinent y Torre, 1990; Rojas *et al.*, 1995), asociados a facies de margen de plataforma.

Formación Palenque (P. Truitt en: P. Truitt y P. Brönnimann, 1956b.)

Rudistas: *Eoradiolites* sp.; además corales, algas y gasterópodos (Albiano).

Ambiente deposicional: Esta unidad se depositó en un ambiente de lagunas y bajos “retroarrecifales” y en menor grado de bancos “arrecifales”.

El género *Eoradiolites* sp. aparece asociado a esta unidad en una única localidad, indicando una edad de Albiano Superior; según la microfauna acompañante.

Formación Purio (C. W. Hatten *et al.*, 1958).

La fauna de *T. giganteus* es conocida en la Fm. Purio, en Sierra de Cubitas, perteneciente a la Plataforma de Bahamas (Rojas *et al.*, 1995).

Rudistas: *T. cf. alatus*, *B. mooretownensis*, *Biradiolites* spp., *Antillocaprina* sp., *Mitrociprina* sp. y *Macgillavryia* sp. (Maastrichtiano Superior).

Ambiente deposicional: Existieron distintas facies de plataforma carbonatada somera, con medios propicios para el desarrollo de los litosomas de Rudistas.

### Arcos Volcánicos

Dentro de esta clasificación entran diversas unidades de arco volcánico, de las cuales el Arco volcánico boninitico, el Arco volcánico primitivo y el Arco volcánico Albiano – Campaniano, son las principales asociaciones de este tipo de génesis.

El Arco volcánico primitivo está formado por rocas de edad pre-Albiano de la serie PIA (*Island arc tholeiites*) (Kerr *et al.*, 1999). Probablemente con la existencia de este terreno volcánico (Fm. Los Pasos, Díaz de Villalvilla *et al.*, 2003) estuvo relacionado el hábitat de la



especie *C. ramosa*, y la fauna acompañante reelaborada, que aparece como litoclastos dentro de las megaturbiditas y las debritas de la Fm. Provincial, en Cuba central (Kantshev *et al.* 1978; Rojas, 2001).

#### Formación Provincial (A. Thiadens, 1937a).

Rudistas: (Reelaborados y redepositados?): *C. ramosa*, corales ramosos, gasterópodos (Turritellidae? y otros) (Albiano Inferior!), además *C. perfecta*, *T. corrugata*, *Caprinuloidea* sp. y *Texicaprina* sp., y algas (Albiano Medio-Superior), (Anexo 5). Ver relación con la biozonación de foraminíferos acompañantes en Furrázola-Bermúdez *et al.* (2003).

Ambiente de deposición: Los sedimentos se depositaron en un ambiente de aguas marinas medianamente profundas, con aporte de turbiditas y debritas que contenían la macrofauna de aguas someras reelaborada y resedimentada, además recibió la influencia episódica de un vulcanismo distal.

#### Formación Guáimaro (D. Tchounev *et al.* en: E. Belmustakov *et al.*, 1981).

Rudistas: *C. multitubifera*, *C. perfecta*, *T. corrugata*, *K. albrittoni*, *Texicaprina* sp. y *Caprinuloidea* sp., algas y corales (Albiano Medio-Superior).

Ambiente de deposición: Los sedimentos se originaron en un ambiente marino de aguas someras, en condiciones de mar abierto con relieve irregular del fondo. La asociación de facies presenta carbonatos con litosomas de caprinidos y polyconitidos, los cuales formaron estructuras parecidas a atolones, relacionadas a aparatos volcánicos temporalmente inactivos y posteriormente cubiertos por facies de vulcanismo proximal.

#### Formación Guaos (I. Kantshev en: I. Kantshev *et al.*, 1978).

Fósiles índices: corales; equínidos y Rudistas: *T. corrugata*, *Caprinuloidea* sp., Caprinidae indet.; gasterópodos (Albiano Medio - Superior).

Ambiente de deposición: Contiene carbonatos tanto de ambientes someros con Rudistas *in situ*, como carbonatos de ambientes de talud, con resedimentación desde la plataforma hacia la cuenca, a través de la ocurrencia de flujos de detritos (*debris flow*); originándose depósitos biogénicos secundarios. Los sucesivos eventos de reactivación de la actividad volcánica conllevaron a la destrucción eventual de las microplataformas que se desarrollaban cercanas a los aparatos volcánicos en receso o inactivos.

#### Formación Piragua (D. Tchounev *et al.* En: Iturralde – Vinent, Tchounev y Cabrera (Ed.), 1981).

Este nivel faunal de Loma Yucatán es conveniente redefinirlo como una unidad (miembro) independiente (actualmente dentro de la Fm. Piragua), debido a su importancia paleontológica y a su uso en la correlación geológica antillana.

Rudistas: *Torreites tschoppi*, *Durania lopeztrigoi*, *Durania curasavica*, *Praebarrettia corrali*, *Vaccinites macgillavryi* y *Plagiptychus* sp. y/o *Mitrocaprina* sp., además abundantes algas y escasos corales (Santoniano).

Ambiente de deposición: Esta secuencia tuvo su origen en un ambiente submareal somero a intermareal - supramareal, probablemente en forma de promontorios (*knolls*) con el desarrollo de los litosomas de Rudistas. La potencia de los cuerpos es de solo algunos metros a las primeras decenas de metros.

#### Miembro Moscas (Formación Arimao) (I. Kantshev en: I. Kantshev *et al.*, 1978).

Aparece en la región del poblado de las Moscas, en la provincia de Cienfuegos.

Rudistas: *V. macgillavryi* (Santoniano).

Ambiente deposicional: Se depositó en un ambiente marino somero, en la parte elevada del sustrato de origen volcánico. Las secuencias estudiadas son granocrecientes o negativa,





culminando con la implantación de los Rudistas, lo cual evidencia una evolución transgresiva.

Formación Piragua (D. Tchounev *et al.* En: Iturralde-Vinent, Tchounev y Cabrera (Ed.), 1981).

Rudistas: *B. monilifera*, *B. multilirata*, *P. sanchezi*, *B. cubensis*, *P. antillarum*, *B. hispida*, *T. rutteni*, *T. alatus*, *Biradiolites* sp., *M. nicholasi*; además abundantes Acteonélidos y otros moluscos (Campaniano Inferior – Medio).

Ambiente de deposición: La unidad se depositó en un ambiente subacuático, de poca profundidad, hasta de profundidades medias. Los Rudistas formaron cuerpos de carbonatos relacionados con las estructuras volcánicas desactivadas o en receso, en un ambiente general muy inestable.

Formación Hilario (H. Wassall y P. Truitt en: P. Brönnimann y G. Pardo, 1954).

Rudistas: *B. monilifera*, *B. multilirata*, *P. sanchezi*, *T. sanchezi*, *P. antillarum*, *B. hispida*, *B. thiadensi*, *C. radiolitiformis*, *T. rutteni*, *V. vermunti*, *B. cubensis*, *B. aquitanicus* y *Plagioptychus* sp. (Campaniano Inferior – Medio). La biozonación de foraminíferos acompañantes puede verse en Furrázola-Bermúdez *et al.*, 2003.

Ambiente deposicional: Los carbonatos formaron cuerpos tabulares y lenticulares, situados alrededor de paleoestructuras emergidas, con influencia de vulcanismo distal. Algunos cuerpos (*rudstone* - *floatstone*) pudieron haberse acumulado en el talud proximal, pues contienen abundante fauna de ambiente somero resedimentada.

#### Unidades de las Cuencas Postvolcánicas (Piggy Back)

A la extinción de la actividad volcánica siguió la formación de las cuencas sedimentarias, influenciadas por un intenso rellenamiento siliciclástico sobre el terreno postvolcánico, el cual avanzaba hacia el margen continental norteamericano.

A la fauna de *T. giganteus* se le asigna una edad Campaniano Tardío – Maastrichtiano y está presente en varias unidades cubanas. Una fauna de la misma edad a la de *T. giganteus* es conocida en la Fm. Purio, en Sierra de Cubitas, perteneciente al Margen Continental de Bahamas (Rojas *et al.*, 1995). Junto a la fauna de *T. giganteus* existe una diversa y abundante micro - y macrofauna asociada, otros moluscos bivalvos, gasterópodos, corales, equinodermos, poliquetos y algas.

Formación Los Negros (S. Gil y R. González en: E. Linares *et al.*, 1985).

La fauna está caracterizada por una gran cantidad de bioclastos y conchas de numerosas especies de Rudistas. En algunas localidades al parecer existe mezcla tafonómica con especies del Campaniano y del Maastrichtiano.

Rudistas (fauna reelaborada): *B. monilifera*, *B. multilirata*, *B. cubensis*, *Biradiolites rudissimus*, *V. vermunti*, *M. bayani*, *B. aquitanicus* (Campaniano).

Rudistas (fauna autóctona): *T. giganteus*, *T. macgillavryi*, *B. mooretownensis*, *B. jamaicensis*, *A. annulata*, *A. pugniformis*, *A. stellata*, *C. radiolitiformis*, *B. thiadensi*, *H. muellerriedi*, *P. sparcilirata*, *M. tschoppi*, "*R.*" *macroplicatus*, *P. antillarum*, *D. palmeri*, *Barrettia* sp. y *Parastroma* sp. (Maastrichtiano).

También son comunes otros moluscos (gasterópodos y pelecípodos), equinodermos, diversas y abundantes algas, macroforaminíferos y escasos corales.

Ambiente deposicional: La cuenca donde se generaban los carbonatos y litosomas de Rudistas tuvo gran influencia episódica del aporte aluvial en la zona sublitoral, que incluía las conchas reelaboradas, mostrando la existencia de tierras emergidas cercanas. Los Rudistas se implantaban en los substratos duros de grava - conglomerados, donde eran destruidos episódicamente.





#### Formación Cantabria (I. Kantshev en: I. Kantshev *et al.*, 1978).

Rudistas: *T. giganteus*, *M. nicholasi*, *A. stellata*, *A. pugniformis*, *B. planasi*, *P. sparcilirata*, *P. guitarti*, *Macgillavryia* sp., *Antilocaprina* sp., *Sauvagesia* sp. y *Mitrocaprina* sp. (Maastrichtiano Superior).

Posee además una rica fauna acompañante, donde se destacan los equinodermos, los gasterópodos, otros bivalvos, y se destacan raros poliquetos del género *Ditrupea*.

Ambiente deposicional: Se depositó en un fondo nerítico somero con desarrollo local de litosomas de Rudistas, con facies de laguna o plataforma interna más protegidas.

#### Formación Isabel (P. Truitt y G. Pardo, 1953b)

Rudistas: *T. giganteus*, *M. nicholasi*, *P. guitarti*, *T. rutteni*, *P. sparcilirata*, *P. porosa*, *B. aquitanicus*, "*R.*" *macroplicatus*, *T. adhaerens*, *M. tschoppi*, *B. multilirata*, *Antilocaprina* sp., *Plagioptychus* sp., *Biradiolites* spp., *Bournonia* sp. y *Chiapasella* sp. (Maastrichtiano Superior).

Ambiente deposicional: Se depositó en un ambiente nerítico, con desarrollo local de litosomas de Rudistas. Se observa influencia temporal de tierras emergidas.

#### Formación Tinajita (M. T. Kozary y P. Brönnimann, 1955).

Rudistas: *T. giganteus*, *M. nicholasi*, *P. sparcilirata*, ?*Mitrocaprina* sp., ?*Antilocaprina* sp. y *Biradiolites* spp. (Maastrichtiano Superior).

Ambiente de deposicional: Se depositó en un ambiente nerítico, con facies de laguna y con formación de litosomas de Rudistas, probablemente con etapas de profundización.

Formación Presa Jimaguayú (M. Iturralde *et al.* en: Iturralde-Vinent, Tchounev y Cabrera (Ed.), 1981).

Rudistas: *T. giganteus*, *T. cf. alatus*, *B. mooretownensis*, *M. nicholasi*, *A. annulata*, *A. pugniformis*, *A. stellata*, *M. tschoppi*, *P. guitarti*, *B. multilirata*, *P. sparcilirata*, *B. thiadensi*, *T. adhaerens*, *Plagioptychus* sp., *Apricardia* sp. (Maastrichtiano Superior).

Además posee una rica fauna acompañante, de otros moluscos (*Chama cubana*, *Arctostrea aguilerae*), gasterópodos (*Nerinea* sp., Turritelidae ind.), equinodermos, corales, briozoos y algas.

Ambiente deposicional: Típico de plataforma carbonata somera, con diferentes medios, costero, lagunar, bancos biotriticos y de talud, con muy amplio desarrollo de litosomas de Rudistas de diferentes asociaciones de especies.

#### Unidades del límite Cretácico – Terciario (K/T)

En el territorio cubano se conocen varias formaciones relacionadas con los depósitos originados en el límite Cretácico - Terciario, situadas en diferentes contextos geológicos, que contienen fauna reelaborada y resedimentada (Fm. Peñalver, Fm. Moncada, Fm. Cacarajicara, Fm. Amaro), (Iturralde-Vinent y Díaz-Otero, 2001; García *et al.*, 2001), y probablemente, de forma parcial, Fm. Cañas y La Picota) (Cobiella, 1974; Cobiella *et al.*, 1984).

A continuación sólo se presenta como ejemplo a la Fm. Peñalver, por contener una fauna de Rudistas más variada y ser la mejor conocida (Rojas, 2000a, b).

#### Formación Peñalver (P. Brönnimann y D. Rigassi, 1963).

Su localidad tipo se ubica en el área de la Avenida Monumental entre Vía Blanca y la Autopista Nacional, al este de La Habana, pero esta formación está ampliamente extendida en las provincias de La Habana, Ciudad de La Habana, Matanzas y Pinar del Río.

En la parte basal de la unidad se distingue una brecha-conglomerado que yace discordante en una superficie erosiva sobre la formación Vía Blanca, de edad Campaniano a



Maastrichtiano tardío (Díaz-Otero *et al.*, 2000; Molina *et al.*, 2002a). Esta brecha está compuesta por fragmentos de rocas carbonatadas y de rocas volcánicas con horizontes ricos en intraclastos arcillosos de la Fm. Vía Blanca. En la secuencia basal predominan los fragmentos de Rudistas, evidentemente como material reelaborado (Rojas, 2000a, b; Takayama *et al.*, 2000; Tada *et al.*, 2002).

Rudistas (reelaborados): *T. giganteus*, *B. mooretownensis*, *B. cancellatus*, *Biradiolites* spp., *M. nicholasi*, *P. porosa*, *P. sparcilirata*, *D. cf. palmeri*, *T. adhaerens*, *P. sanchezi*, *Titanosarcolithes* sp., *Radiolites* sp., *Tampsia* sp., *Parastroma* sp. y *Barrettia* sp. (Maastrichtiano Superior).

Además se reportan diversas especies de Equinodermos (*Cardiaster* sp., *Conulus* sp., *Goniopygus* sp., *Hemiaster* sp., *Lanieria* sp., *Procassidulus* sp., *Pseudorthopsis* sp.); así como corales, algas y gasterópodos.

Ambiente de deposición: Originada a través de flujos gravitacionales submarinos producidos por sismos y tsunamis al final del Maastrichtiano, inducidos por el impacto meteorítico de Chicxulub en la península de Yucatán, México.

#### Lista de especies de Rudistas por edades

Esta lista muestra la distribución estratigráfica de los diferentes taxones contenidos en las unidades litoestratigráficas analizadas. La misma señala los niveles estratigráficos que se han determinado en el territorio cubano, tanto en el dominio del margen continental, como en el Arco Volcánico y su cobertura sedimentaria postvolcánica (Anexo 6).

#### **Tafonomía**

La Tafonomía (Efremov, 1940) es la disciplina paleontológica que se ocupa del estudio de los procesos que intervienen en la formación de los fósiles (entidades conservadas), desde la muerte o realización de la entidad paleobiológica (organismo, sus partes y huellas), hasta el transporte (procesos bioestratinómicos), el enterramiento y la fosildiagénesis (procesos fosildiagenéticos) (Fernández, 1989). En este caso la entidad en estudio son las conchas de los Rudistas y los procesos que las afectaron.

#### Procesos Bioestratinómicos

A lo largo de la evolución geológica los Rudistas, como un grupo más dentro de la fauna bentónica marina, estuvo sometido a los diferentes procesos geotectónicos y ambientales ocurridos en nuestra región paleogeográfica, a saber movimientos de las placas tectónicas, vulcanismo, cambios climáticos, impactos extraterrestres, etc.

No obstante, este diverso grupo de la macrofauna de invertebrados marinos fue capaz de adaptarse y desarrollarse a lo largo de todo el período Cretácico, a fines del cual se extingue, junto a otro numeroso grupo de animales y plantas (Álvarez *et al.*, 1980; Raup y Sepkoski, 1984; Douglas y Nicol, 1986).

Con la muerte del organismo, población o comunidad (entidad paleobiológica) daban inicio los procesos posteriores de su transporte o enterramiento (las conchas, en el caso de los Rudistas). Entonces tenían lugar los procesos de retrabajado *in situ* (acumulación), o de la transportación de las conchas ocurriendo la acumulación *ex situs* (resedimentación). Si la muerte ocurría por sepultamiento mecánico (enterramiento) de la entidad paleobiológica, el transporte no tenía lugar, y daba comienzo los procesos post - enterramiento *in situ* (fosildiagénesis).

El proceso de transporte podía ocurrir o no. Si no se hacía efectivo un rápido enterramiento, este era seguido por la descomposición de las partes blandas, sobreviniendo la desarticulación de las valvas. Tras los procesos de biodegradación y descomposición seguía la dispersión de una parte de las entidades producidas. De este modo, aparecía una producción biogénica, al emerger de cada individuo de Rudistas al menos dos elementos biogénicos (dos valvas), he incluso más si se provocaba fragmentación de la concha.



Comúnmente, las entidades conservadas de Rudistas presentan huellas de bioerosión. Generalmente, la valva superior libre de los Rudistas era arrastrada fuera del lugar de vida, o destruida bajo la dinámica del oleaje y las corrientes marinas (abrasión). Es deducible la ocurrencia de procesos selectivos durante la dispersión y posterior acumulación. Esto pudo conllevar a la formación de biofacies o asociaciones sesgadas, con la correspondiente pérdida de información tafonómica, común en los depósitos biodetríticos secundarios o alóctonos.

La acción del oleaje y las corrientes marinas produjo además reorientación de las conchas, sobre todo en la etapa preenterramiento. Pero la desorganización es quizás la consecuencia más visible de la acción dinámica de las aguas sobre las conchas de Rudistas, lo cual se observa en muchos depósitos de nuestro territorio.

Los Rudistas presentan en sus conchas capas de composición aragonítica y calcítica, las cuales fueron susceptibles a la disolución diferenciada, produciéndose una micro – y macroporosidad químicamente inducida, con pérdida de información paleobiológica.

La resedimentación tafonómica penecontemporánea no afectaba a los Rudistas con tanta intensidad como se ha descrito para la microfauna (Molina *et al.*, 2002b), aunque ocurrió con bastante frecuencia (ej. Fm. Hilario, Fm. Piragua).

### Procesos Fosildiagenéticos

Los procesos fosildiagenéticos incluyen todos los ocurridos postenterramiento, que conllevan a la transformación o destrucción de las entidades producidas biogénicamente en las entidades conservadas, y a la posterior producción tafogénica. Los cambios tafonómicos pueden ser entonces conservativos o destructivos (Fernández, 1999).

La reelaboración tafonómica constituye un proceso fosildiagenético. Este proceso ocurre alocrónicamente, y puede, ocasionalmente, favorecer la conservación de la entidad reelaborada. En este acápite se documentan varios depósitos sedimentarios conteniendo fauna reelaborada, donde las entidades conservadas – reelaboradas, son indicadoras de una edad más antigua, “falsa” en comparación con el resto del registro fósil que caracteriza a ese depósito (Anexo 7).

Por ejemplo, entre otros, los individuos de la especie *C. ramosa*, un Caprínido índice del Cretácico Inferior, que se halla reelaborado en debritas de la Fm. Provincial del Albiano - Cenomaniano, en la provincia de Villa Clara. Este proceso es mucho más común de lo que muchas veces se considera, por lo que hay que tenerlo siempre presente a la hora de realizar fechados biocronológicos o correlaciones entre asociaciones fósiles.

La erosión de depósitos de diferentes edades (aflorados en una misma área o localidad), durante la formación y el modelado del relieve actual, ha provocado la ocurrencia de la mezcla tafonómica (y reelaboración) que llega hasta la actualidad.

En el caso de los Rudistas, y aplicable a otros grupos de fósiles, ha conllevado a la realización de colectas de ejemplares sueltos de diferentes niveles estratigráficos o edades, dispersos en el eluvio y el suelo, en un mismo sitio; evidenciándose asociaciones fósiles artificiales, generadoras de interpretaciones erróneas. Este hecho ya había sido advertido por Sánchez-Roig (Iturralde-Vinent y Torre, 1990), en el área de Arroyo Hondo, al este la ciudad de Camagüey.

La parte de la concha de los Rudistas compuesta por Aragonita, fue sustituida por Calcita, en un proceso de inversión mineralógica o neomorfismo, común a la mayoría de las especies de casi todas las familias. Los procesos de recristalización están generalizados en las conchas calcáreas, y en los Rudistas, es frecuente encontrar Calcita macroesparítica sustituyendo la estructura fibrosa o prismática original. El reemplazamiento del material calcáreo ( $\text{CaCO}_3$ ) de la concha por óxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) se ha encontrado en dos casos diferentes: cuando las conchas han sido sustituidas al ser alcanzadas por las soluciones mineralizantes provenientes de las intrusiones de granitoides (Albiano y el Campaniano),



cuando las conchas, aparentemente, quedaron acumuladas en un medio bajo condiciones donde las soluciones silíceas sustituyeron al carbonato biogénico (?Cuaternario).

Los sedimentos biogénicos incluidos en las series del AVC en Cuba tienen una coloración, de gris claros a gris oscuro, hasta negro. Sólo en épocas, aparentemente de receso de la actividad volcánica, se formaron cuerpos de carbonatos con coloraciones blanquecinas, amarillentas, hasta crema. Las conchas presentes en las rocas de la Plataforma de las Bahamas son de color blanco marfil, y la matriz que las contiene es de color casi blanco. Los Rudistas de la plataforma carbonatada de la cobertura del AVC extinto (Campaniano tardío – Maastrichtiano), se presentan con coloraciones claras, grises claras a amarillentas.

En concordancia con los criterios anteriores, la coloración en general de la concha de los Rudistas en el territorio cubano, puede ser utilizada en muchos casos como un indicador del contexto geológico e incluso de la edad relativa de los depósitos que los abrigan.

### **Paleoecología**

La diversidad taxonómica de los Rudistas y la alta variabilidad morfológica de sus conchas, abren un amplio campo de análisis en el uso de la interpretación paleoecológica en función de la reconstrucción paleoambiental. De ahí que en el presente estudio se brinde la principal información sobre el grupo, que se ha alcanzado en nuestro país. La misma puede aportar al conocimiento geológico del territorio cubano, en general, y al aprovechamiento de la Paleontología aplicada, en particular.

Los Rudistas se consideran típicos organismos epibentónicos sésiles, aun cuando progresivamente durante el crecimiento de la concha de muchas especies estas iban quedando semi - enterradas en el sedimento que actuaba como sostén, mostrando que podían adaptarse a presiones ambientales por medio del crecimiento plástico de la concha (Vicens y Gili, 1995). Habitaron en el ambiente nerítico, en diferentes zonas del medio bentónico: zona más somera – zona litoral o intermareal; sobre y bajo el nivel de marea baja se localiza la zona sublitoral o submareal, donde habitaron la mayoría de las especies.

Los Rudistas parecen haber ocupado las áreas más someras dentro de las plataformas carbonatadas, con limitado acarreo siliciclástico, aunque en el dominio de los arcos volcánicos estos parámetros parecen haber variado en amplios rangos.

### **Hipurítidos**

Los Rudistas en general han sido clasificados en tres morfotipos paleoecológicos en: *elevator*, *clinger* y *recumbent* (Skelton, 1991; Skelton y Gili, 1991; Gili *et al.*, 1995a).

Los Hipurítidos fueron una familia de Rudistas típicamente “elevadores” (*elevators*), con adaptaciones morfológicas y funcionales que le permitían habitar en diferentes medios dentro del ambiente marino. Su valva inferior estaba preparada para crecer generalmente hacia arriba, manteniendo la comisura siempre bien por encima de la superficie del fondo marino (Vicens y Gili, 1995; Gili *et al.*, 1995). La valva superior posee un particular sistema de canales radiales y poros, combinado con pilares y ósculos en la valva inferior, que garantizaban el exitoso desarrollo de este grupo de organismos (Skelton, 1978; 1979; 2000).

Los Hipurítidos de forma cilíndricas – alargadas eran los más sociables y podían formar agregados monoespecíficos a pauciespecíficos de varios centenares de individuos (Gili, 1992; Vicens y Gili, 1995). Dentro de los agregados, los individuos crecían juntos hacia arriba, en parte sostenidos por los vecinos y/o por el sedimento acumulado alrededor de ellos y entre ellos (Vicens y Gili, 1995).

Son numerosos los estudios dedicados a aspectos paleoecológicos sobre los Hipurítidos de Europa (Gili *et al.*, 1995; Skelton *et al.*, 1995). Los Hipurítidos en la paleoprovincia faunal americana están representados por varias especies de seis géneros (*Praebarrettia*, *Barrettia*, *Parastroma*, *Torreites*, *Vaccinites*, *Hippurites*), cuyas conchas poseen características morfológicas propias de cada taxón, dentro de los elevadores (*elevators*).





Como una variación ecofenotípica, se manifiesta la diferencia de diámetro de una especie cuando crece en solitario o en agregados (Vicens, 1993), lo cual también ocurre con la altura de la concha. Según Gili (1992), algunas especies de Hipurítidos muestran una forma cilíndrica ancha en solitario, y además, crecen con un componente minoritario en agregados, pero cuando son el componente dominante del mismo, adopta una forma cilíndrica más estrecha y alargada. No obstante, los resultados que se muestran más adelante señalan que las variaciones intraespecíficas son limitadas, manteniéndose dentro de determinados rangos para cada especie (ver Coeficiente de Elevación).

La tolerancia de los Rudistas a los influjos de sedimentos terrígenos es controversial (Stössel, 1999). En el caso de los Hipurítidos caribeños, que conquistaron y se desarrollaron en el contexto del arco volcánico cretácico, evidencian haber podido lidiar con altas tasas de deposición de sedimentos detríticos provenientes de la actividad volcánica.

También la erosión de los terrenos volcánicos, que limitaban las cuencas marinas donde florecieron los Rudistas, indican que altos volúmenes de sedimentos detríticos, volcanomícticos y calcáreos, con contenido arcilloso variable, eran aportados a aquel ambiente. Probablemente, los sistemas de poros, canales y repliegues que desarrollaron, son una prueba clara de su especialización como eficaces filtradores.

#### *Coeficiente de Elevación*

Precisamente, basado en la relación entre los mencionados parámetros (altura y diámetro de la valva inferior) se realizó la comparación entre algunas de las especies más comunes de Hipurítidos americanos (Mac Gillavry, 1937; Chubb, 1971).

Con el fin de revelar posibles conexiones con las características de la sedimentación en diferentes subambientes y medios del pasado, se introduce por primera vez, como instrumento de análisis, el Coeficiente de Elevación, basado en la morfología de las conchas (Rojas, 2002 y 2003). Este evalúa las posibles regularidades en las variaciones morfológicas entre especies de cada género, y en general, de la familia.

El siguiente estudio comprende los datos publicados (Alencáster, 1971; Dommelen, 1971; Alencáster y Michaud, 1990), y se agregan además, las mediciones realizadas a los especímenes de Hipurítidos depositados en la colección paleontológica del MNHN de Cuba.

La relación (**R**) entre el alto (**H**) y el ancho (**D**) de la concha se ha denominado Coeficiente de Elevación, y su comportamiento permite clasificar a cada individuo como: *Elevador Alto* ( $R > 2$ ), *Elevador Medio-Alto* ( $1.9 > R > 1$ ), *Elevador Medio-Bajo* ( $0.9 > R > 0.5$ ) y *Elevador Bajo* ( $R < 0.4$ ). La expresión gráfica de los valores de **R** de un conjunto de individuos de una determinada especie, refleja la tendencia morfológica específica de la concha de esa especie (Anexos 8 y 9).

El género **Barrettia** lo integran las especies *B. monilifera*, *B. multilirata*, *B. gigas*, *B. ruseae* y *B. cuatesi*; no obstante, hay autores que reconocen otras (Dommelen, 1971).

Según el Coeficiente de Elevación, las especies del género *Barrettia* se manifiestan morfométricamente del siguiente modo: *B. coatesi* (Santoniano) es un Elevador Medio – Alto predominantemente (66.7%), con tendencia a Elevador Alto (23.1%). Por su parte, *B. monilifera* (Campaniano) es un Elevador Medio – Alto (58.7%), con tendencia a Elevador Medio – Bajo (23.9%). En cambio, *B. gigas* (Campaniano) se manifiesta como un típico Elevador Bajo (72.7%). Mientras, *B. multilirata* ocupa una posición intermedia, de Elevador – Bajo (50%) a Elevador Medio – Alto (35.8%), aunque los datos son escasos (Anexos 8 y 9).

En general, se aprecia una clara distinción morfométrica entre las diferentes especies de *Barrettia*. Según su aspecto morfológico, las especies de *Barrettia* van desde cónico - bajo hasta cilíndrico - alto o columnar, llegando a alcanzar tallas gigantescas: *B. gigas* y *B. monilifera*, con más de 300 y 400 mm de diámetro y altura respectivamente, sólo ligeramente menores que algunas especies del género *Parastroma*.



Las especies de este género habitaron medios con parámetros variables, desde energía relativamente baja y tasa de deposición baja (*B. coatesi*, *B. giga*), hasta de energía moderada a alta (formando *clusters* y empaquetamientos en *thickets*) y tasa de deposición muy alta (*B. monilifera* y *B. multilirata*).

Las especies de ***Praebarrettia*** analizadas se distinguen con claridad. *P. corrali* (Santoniano) es un típico Elevador Alto (64.7%) a Elevador Medio – Alto, mientras *P. sparcilirata* (Campaniano - Maastrichtiano) es un Elevador Medio – Alto (66.7%) a Medio – Bajo.

Las especies de ***Parastroma*** se diferencian bien morfométricamente, aunque gráficamente se observan solapamientos entre algunas de ellas. *P. guitarti* es un típico Elevador Medio – Alto (65.4%), con tendencia Elevador Medio – Bajo. En contraste, *P. sanchezi* muestra una clara tendencia a ser un Elevador Medio – Bajo (83.3%), manifestándose una marcada distinción entre ambas especies. Sin embargo, *P. trechmanni* (EMA=26.2%; EMB=57.1%; EB=16.7%) reconocido de Jamaica, muestra dos tendencias. Se comporta parcialmente como un Elevador Medio – Bajo (57.1%), parecido a *P. sanchezi* y en menor grado como un Elevador Medio – Alto (26.2%), como *P. guitarti*.

***Torreites*** tiene sólo dos especies, *T. tschoppi* (Santoniano) y *T. sanchezi* (Campaniano). Los datos con que se cuenta son pocos, no obstante, ambas especies, en general, se distinguen nítidamente debido a sus diferentes dimensiones. Las dos especies se comportan como Elevadores Medio – Alto. Pero, *T. tschoppi* es una especie de pequeño tamaño, mientras *T. sanchezi* tiene dimensiones mucho mayores.

Se analizan tres especies de ***Vaccinites***: *V. martini*, *V. macgillavryi* y *V. vermunti*, de los cuales disponemos de datos, aunque se han descrito otras especies en nuestra región (Chubb, 1971; Alencáster *et al.*, 1987 y Pons *et al.*, 1992). Según su submorfotipo, *V. martini* (Santoniano) se comporta como un Elevador Medio – Bajo (66.7%) con tendencia a Elevador Medio – Alto; a diferencia de *V. macgillavryi* (Santoniano) que es, casi exclusivamente, un típico Elevador Medio – Alto (83.4%). Mientras *V. vermunti* (Campaniano) se muestra como un Elevador Medio – Alto (44.5%) a Elevador Medio – Bajo (33.2%).

Del género ***Hippurites*** en nuestra región sólo hay reconocida una especie, *H. mullerriedi* del Maastrichtiano, de la cual se tienen escasos datos, y probablemente una nueva en La Española.

A nivel de Familia, se observa que cuatro géneros clasifican predominantemente dentro del submorfotipo Elevador Medio - Alto (*Torreites*, *Vaccinites*, *Barrettia* y *Praebarrettia*), mientras sólo un género (*Parastroma*) se comporta como Elevador Medio - Bajo. Ningún género aparece dentro de los submorfotipos Elevador Alto o Elevador Bajo, no obstante el submorfotipo Elevador Alto se manifiesta significativamente en tres de los cinco géneros analizados (*Praebarrettia*, *Torreites* y *Barrettia*). El submorfotipo Elevador Bajo, se aprecia subordinadamente, a niveles bajos en todos los géneros (*Praebarrettia*, *Vaccinites*, *Parastroma*, *Barrettia* y *Torreites*).

La manifestación de los submorfotipos en el tiempo geológico, muestra que los Elevadores Altos existieron sólo durante el Santoniano en dos especies (*P. corrali* y *T. tschoppi*), pero en esta época surgen también los Elevadores Medio - Altos (*V. macgillavryi*) y los Elevadores Medio - Bajos (*V. martini*). Durante el Campaniano aparecen cuatro especies (*B. monilifera*, *B. coatesi*, *T. sanchezi* y *V. vermunti*) con el submorfotipo de Elevador Medio – Alto, y cinco especies (*B. gigas*, *B. multilirata*, *P. sanchezi*, *P. cf. sanchezi* y *P. trechmanni*) como Elevadores Medio - Bajos. En el Maastrichtiano persisten tres especies (*P. guitarti*, *P. sparcilirata* y *B. multilirata*) del submorfotipo Elevador Medio – Alto, y dos (*P. trechmanni* y *P. porosa*) del submorfotipo Elevador Medio - Bajo.

Concluyendo, puede confirmarse que mediante este método se pueden separar morfológicamente unas especies de otras, por lo cual puede, potencialmente, ser usado como apoyo en la identificación taxonómica. Como se deduce, el Coeficiente de Elevación





dependió directamente de la altura y el ancho que alcanzaba la concha de cada individuo, y estos a la vez estuvieron influenciados, entre otros factores, por la velocidad de crecimiento, la razón de sedimentación y la hidrodinámica del medio habitado.

El desarrollo de uno u otro submorfotipo en el tiempo, pudiera interpretarse como la respuesta adaptativa de los Hipurítidos, a los cambios de las características de los medios sedimentarios (paleoambiente) a lo largo de la evolución del contexto geológico caribeño.

#### *Crecimiento de las conchas*

Los estudios sobre el crecimiento de la concha de los Rudistas, basados en los ciclos de isótopos de oxígeno 18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ), han mostrado un crecimiento vertical (acreción vertical de la concha) rápido de 35 – 40 mm / año, sin señales de desaceleración durante la adultez, al menos para la especie *Vaccinites ultimus* (Milovanovic), un Hipurítido de Europa (Steuber *et al.*, 1998). De los datos conocidos sobre la velocidad de crecimiento se obtiene un promedio de unos 36.8 mm/a para los taxones europeos estudiados. Steuber *et al.* (1998) concluyen que el tiempo de vida por individuo no debió exceder los 10 años, y fue posible en este período un crecimiento de hasta 400 mm.

No obstante, si se asume condicionalmente una velocidad de 36 mm/a para el análisis de los Hipurítidos caribeños, de acuerdo a los datos conocidos, es posible obtener los rangos de tiempos de vida (o edad máxima alcanzada) para los individuos de las especies estudiadas. Tomando en cuenta las alturas que sus conchas llegaron a alcanzar (más de 500 a 600 mm). Así se obtuvieron las siguientes edades (máximas): *Parastroma* (16.6 - 14.2 años); *Barrettia* (12.4); *Praebarrettia* (8.1); *Vaccinites* (5.2) y *Torreites* (5.1). Lo cual parece mostrar que la edad de los Hipurítidos en la región americana podía rebasar los 15 años.

#### *Colapso de los litosomas de Rudistas*

Los procesos disruptivos de la vida de los organismos marinos afectaron los biotopos prácticamente durante todo el desarrollo de la comunidad bentónica, limitando o favoreciendo de este modo, la formación o no de los litosomas de Rudistas. Por consiguiente, provocando la acumulación de los carbonatos biogénicos, o su destrucción y la formación de cuerpos con textura biodetrítica (depósitos secundarios).

A lo largo de la evolución biológica los Rudistas, como un grupo más dentro de la fauna bentónica marina, estuvo sometida a la influencia de los diferentes procesos geotectónicos y ambientales ocurridos en nuestra región geográfica (movimientos de las placas tectónicas, vulcanismo, cambios eustáticos, cambios climáticos, impacto extraterrestre, etc).

No obstante este grupo de invertebrados marinos fue capaz de adaptarse y desarrollarse a lo largo de todo el período Cretácico hasta su extinción. Los procesos mencionados indujeron cambios tanto locales como regionales, los cuales afectaron al ecosistema marino de diferentes modos y con distinta intensidad.

Los cambios del nivel del mar produjeron la alteración de la relación entre áreas emergidas y áreas marinas someras, reduciendo o ampliando el ambiente propicio para el desarrollo de la fauna bentónica. Esta causa de muerte de las comunidades de Rudistas ha sido difícil de documentar y revelar con nitidez, aunque se deduce en algunos de los casos estudiados (ej. Localidad de Loma Caballeros).

El vulcanismo inducía la formación de estructuras volcánicas positivas (centros volcánicos, estratovolcanes, etc.), con la elevación eventual del fondo marino sobre el nivel del mar y su destrucción ocasional; con los consiguientes desplazamientos laterales de facies. Cambios muy similares ocurrirían durante el ascenso y descenso de los bloques tectónicos a lo largo de las márgenes continentales pasivas en expansión (Cretácico temprano), o en compresión, durante la colisión con los elementos oceánicos (Cretácico tardío).

El aumento de las áreas de tierras emergidas conllevaba también al aumento significativo de la producción de sedimentos aluviales, los cuales al ser vertidos a la cuenca provocaban la destrucción del ecosistema platafórmico.



La actividad volcánica fue también causa directa de la destrucción para muchas comunidades de Rudistas. Los productos del vulcanismo efusivo producía variados efectos negativos en el ambiente marino somero: contaminación geoquímica venenosa, anoxismo, enturbiamiento severo de las aguas, disminución de la luz y supresión de los nutrientes. También la llegada a la parte somera de la cuenca marina de grandes volúmenes de productos piroclásticos y detríticos, produjo la desactivación mecánica de las microplataformas desarrolladas en el dominio del AVC, al provocar su sepultamiento instantáneo.

A lo largo del Cretácico se revelan varios eventos periódicos de máxima diversidad faunal en la región caribeña, y episodios de extinción o cambios de las poblaciones, lo cual ha sido asociado con procesos de alcance regional o global, como pudieron ser los cambios climáticos y la elevación eustática del nivel del mar (Kauffman y Johnson, 1988; Johnson y Kauffman, 1990; Scott, 1990; Johnson *et al.*, 1996; Johnson, 2002).

Entre las causas de extinción de muchos grupos de organismos al final del período Cretácico (hace 65 Ma) se ha señalado el choque contra la Tierra de un asteroide de grandes proporciones (Álvarez *et al.*, 1980).

En Cuba se ha demostrado que existen amplios depósitos originados durante los procesos relacionados con el impacto de Chicxulub, en la Península de Yucatán, México (Tada *et al.*, 2001; Takayama *et al.*, 2000). Estos depósitos del K/T contienen abundante fauna reelaborada de Rudistas (ej. Fm. Peñalver), procedente de la destrucción mecánica de una plataforma carbonatada que existió al final del Maastrichtiano en la región occidental (Iturralde-Vinent, 1992; Díaz-Otero *et al.*, 2000; Rojas, 2000a, b).

El miembro clástico grueso de la base de la Fm. Peñalver descansa discordante y erosionalmente sobre la Fm. Vía Blanca, donde se han encontrado foraminíferos indicadores de los últimos 200 mil años del Maastrichtiano; *Biozona de Plummerita hantkeninoides* (Molina *et al.*, 2002a) y el nannofosil caláreo *Micula prinsii* (Takayama *et al.*, 2000). Estas pruebas señalan que la pérdida de aquella fauna ocurrió prácticamente en el límite K/T; sugiriendo que su extinción pudo haber sido inducida por aquel impacto meteorítico; idea que hoy se mantiene en discusión.

Además, recientemente, del nivel de *T. giganteus* de la Fm. *Vaughansfield* (Maldon Inlier) de Jamaica, se obtuvieron valores isotópicos de la relación  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  coincidentes con el límite K/T en Europa y Antártica (Steuber *et al.*, 2002); lo cual es congruente con la extinción a consecuencia del impacto de Chicxulub.

Los Rudistas, como organismos especializados, fueron altamente vulnerables a aquellos bruscos cambios. Como fauna marina bentónica sésil, solamente como resultados de las anómalas condiciones hidrodinámicas (oleajes, mareas, corrientes) debieron ser arrancados mecánicamente del fondo marino. Junto a los sedimentos que le servían de soporte, sufrieron un violento transporte con la desarticulación y partición de las conchas. Al menos en nuestra región esta parece haber sido la principal causa de una alta mortalidad que condujo a su extinción definitiva.

## CONCLUSIONES

Los resultados expuestos demuestran que el objetivo principal de la presente tesis ha sido cumplido, dando respuesta de este modo al problema planteado inicialmente. Así también, en cada capítulo se solventan los objetivos específicos correspondientes a los temas tratados.

Los Rudistas cubanos comprenden siete familias (Caprinidae, Polyconitidae, Radiolitidae, Hippuritidae, Plagiophychidae, Requieriidae y Antilocaprinidae) de las diez reconocidas, 30 géneros y unas 49 especies; comparable a otros territorios del Caribe.



Se actualizaron las listas de especies de 15 unidades litoestratigráficas, del Aptiano hasta el Maastrichtiano, pertenecientes al Margen Continental de Norteamérica (Megaplataforma Florida – Bahamas y la Plataforma de Bahamas), los Arcos Volcánicos y las Cuencas postvolcánicas (Piggy Back).

El Mapa de distribución estratigráfica exhibe una amplia representatividad, con más de 160 localidades con Rudistas en el territorio cubano, en diferentes niveles estratigráficos (ej. Anexo 3 y Anexo 4).

La introducción por primera vez del análisis tafonómico del grupo, como herramienta metodológica y conceptual, contribuyó a evitar posibles errores de interpretación, mejorando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

El Coeficiente de Elevación, se introdujo como basamento para realizar el análisis morfométrico de los Rudistas Elevadores (*elevators*), el cual permitió la distinción morfológica entre taxones (Hipurítidos), y sirvió de apoyo en la interpretación paleoecológica.

Se identificaron en el territorio cubano cuatro asociaciones de Rudistas: *A. waringi* (Aptiano – en Megaplataforma Florida –Bahamas), *C. ramosa* (deducida), *T. corrugata* (Albiano, Santoniano y Campaniano – en el Arco volcánico) y *T. giganteus* (Campaniano tardío – Maastrichtiano – en las Cuencas postvolcánicas); correlacionables con niveles isócronos en los terrenos antillanos y caribeños, y relacionados con el hemisferio oriental.

## RECOMENDACIONES

- Continuar las investigaciones sobre el grupo, profundizando en su Taxonomía, Tafonomía, Paleoecología y correlación estratigráfica.
- Actualizar el Léxico Estratigráfico de Cuba con los resultados sobre Bioestratigrafía contenidos en el presente trabajo.
- Introducir la información obtenida en la práctica de los trabajos geológicos cubanos, en la generalización cartográfica y la correlación geológica.
- Utilizar el presente documento como material de apoyo en la docencia sobre Paleontología, Geología de Cuba y otras asignaturas relacionadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albear, J. F. de, 1947. Stratigraphic paleontology of Camagüey district, Cuba. AAPG Bull., 31(1) : 71-91.
- Alencáster, G., 1971. Rudistas del Cretácico Superior de Chiapas (Parte I). UNAM Inst. Geol. Paleontol., México, (34) : 1-91.
- Alencáster, G., R. Hernández García, F. García Villegas, 1987. Rudistas hipuritidos (Bivalvia-Hippuritacea) del cretácico superior de la parte central del estado de Guerrero. Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología 1(1) : 24-39.
- Alencáster, G. y F. Michaud, 1990. Rudistas (Bivalvia - Hippuritacea) del Cretácico superior de la región de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (México). Actas Fac. Tierra UANL Linares 4 (octubre) : 175-193.
- Alencáster, G. y J. M. Pons, 1992. New observations on the upper cretaceous rudist of Chiapas: comparison between American and European faunas and taxonomic implications. Geologica Rom. 28 : 327-339.
- Alencáster, G. y J. Pantoja-Alor, 1995. New early aptian rudist (Bivalvia-Hippuritacea) from the Huetano area in southwestern Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 12 (2) : 123-134.
- Alencáster, G. y J. Pantoja-Alor, 1996. The rudist *Amphitriscoelus* (Bivalvia-Hippuritacea) in the lower cretaceous of southwestern Mexico. Jour. of Paleontol. 70 (3) : 399-407.
- Alencáster, G. y J. Pantoja-Alor, 1998. Two new Lower Cretaceous rudists (Bivalvia-Hippuritacea) in the Huetamo Región of Southwestern México. En: Congrès International sur les Rudistes (4 : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Mém. sp. 22. -- p. 15-28.



- Álvarez, L. W., W. Álvarez, F. Asaro y H. V. Michel, 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous – Tertiary extinction. *Science*, 208 : 1095 – 1110.
- Chubb, L. J., 1956. Some rarer rudists from Jamaica, B. W. I. *Paleontographica Americana* 4 : 1-30.
- Chubb, L. J., 1961. Rudist assemblages in Cuba. *Bull. Amer. Paleont.*, 43 (198) : 413-422.
- Chubb, L. J., 1971. Rudist of Jamaica. *Paleontographica Americ.*, Vol. 7 (45) : 162-257.
- Cobiella, J., 1974. Los Macizos Serpentiníticos de Sabanilla, Mayarí Arriba, Oriente. *Revista Tecnológica*, 12(4) : 41-50.
- Cobiella, J., Quintas, F., Campos M., Hernández, M., 1984. Geología de la Región Central y Suroriental de la Provincia de Guantánamo. Santiago de Cuba, Editorial Oriente, 125 p.
- Díaz de Villalvilla, L., I. Milia, M. Santa Cruz Pacheco, G. Aguirre, 2003. Formación los pasos: geología, geoquímica y su comparación con el Caribe. En: Estudios sobre los arcos volcánicos de Cuba [CD-ROM]. -- La Habana : CNDIG, 2003.
- Díaz Otero, C.; M. Iturralde-Vinent and D. García Delgado, 2000. The Cretaceous-Tertiary boundary "cocktail" in Western Cuba, Greater Antilles. Abstract of the Intern. Confer. on Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond. July 9-12, 2000. University of Viena, Austria. LPD Contribution No. 1053:37
- Dommelen, H. Van., 1971. Ontogenetic, Phylogenetic and Taxonomic Studies of the American Species of Pseudovaccinites and of Torreites and the Multiple Hippuritids. Amsterdam, University of Amsterdam. Doctoral thesis, 125 p.
- Douglas, J. y S., D. Nicol, 1986. Origination, survivorship, and extinction of rudist taxa. *Journal of Paleontology* 60(1) : 107-115
- Douvillé, H., 1926 - I. Quelques fossiles de Crétacé supérieur de Cuba, Planche IV. *Bull. Soc. Géol. France* 26 (3-4-5) : 127-138.
- Douvillé, H., 1926 - II. Quelques fossiles de Crétacé supérieur de Cuba, Planche VII et VIII. *Bull. Soc. Géol. France* 26 (3-4-5) : 127-138.
- Douvillé, H., 1927. Nouveaux Rudistes du Crétacé de Cuba. *Bull. Soc. Géol. France* 27 (ser. 4a) : 49-56.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to the depositional texture. En: Hamp, W.E., ed. *Classification of Carbonate rocks*. Am. Ass. Petr. Geol. Mem. 1 : 108-121.
- Efremov, J. A. 1940. Taphonomy: new branch of paleontology. *Pan-American Geologist*, 74: 81-93.
- Embry, A. F., J. E. Klován, 1971. A late Devonian reef tract on northeastern Backs Islands, Northwest Territories. *Bull. Can. Petrol. Geol.* 19 : 730-781.
- Fernández-López, S. 1989. La materia fósil. Una concepción dinamicista de los fósiles. En: Nuevas tendencias: Paleontología (Ed. E. Aguirre). Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid: 25-45.
- Franco et al., 1992. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Instituto de Geología y Paleontología (MINBAS). La Habana.
- Furrazola-Bermúdez, G., C. Díaz-Otero, R. Rojas-Consuegra, D. García Delgado, 2003. Generalización bioestratigráfica de las formaciones volcano-sedimentarias del arco volcánico cretácico y su cobertura, en Cuba central. En: Instituto de Geología y Paleontología. Estudios sobre los Arcos Volcánicos de Cuba [CD-ROM]. --La Habana : CNDIG, 2003.
- García-Delgado, D, R. Rojas-Consuegra, C. Díaz-Otero, R. Tada, M. Iturralde-Vinent, 2001. Field trip guide to the Cretaceous-Tertiary Boundary in western Cuba. En: Congreso Cubano de Geología y Minería (4. : 2001 : La Habana). IV Congreso Cubano de Geología y Minería : GEOMIN' 2001. 21pp.
- Gili, E., 1984. Interaccions sedimentològiques i biològiques a les formacions de rudistes (Bivalvia) de les Collares de Basturs (cretaci superior, zona sudpirinenca central). Thesis. Univ. Barcelona, 42 pp.
- Gili, E., 1992. Palaeocological significance of rudist construction: a case study from les Collades de Basturs (Upper Cretaceous, South Central Pyrenees). *Geol. Rom.* 28 : 319-325.
- Gili, E., J. P. Masse, P. W. Skelton, 1995a. Rudists as gregarious sediment-dwellers, not reef-builders, on cretaceous carbonate platforms. *Palaeo* 118 : 245-267.
- Harris, G. D. y F. Hodson, 1922. The rudists of Trinidad. *Palaeontographica Americana*, 1 (3) : 119 – 162.
- Hermes, J., 1945. Geology and paleontology of East Camagüey and West Oriente, Cuba. *Geogr. Geol. Meded., Phys. Geol. Reeks, Utrecht*, 2 (7) : 1-75.
- Höfling, R. y R. W. Scott, 2002. Early and mid-Cretaceous buildups. Phanerozoic reef patterns. SEPM Special Publication No. 72 : 521 – 548.
- Iturralde-Vinent, M. (Ed.), 1996. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. Contrib. Espec. No. 1. IGCP Project 364, Miami, USA. 265 p.





- Iturralde-Vinent, M., 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. *Acta Geológica Hispánica* 33 (1-4) : 9-56.
- Iturralde-Vinent, M., 2004. La Paleogeografía del Caribe y sus implicaciones para la Biogeografía Histórica: Cretácico a Eoceno Superior. En: M. Iturralde-Vinent (Ed.) *Paleogeografía y Biogeografía de Cuba y el Caribe*. Museo Nacional de Historia Natural, La Habana. 1ra. Edición Digital (CD ROM).
- Iturralde-Vinent, M., A. de la Torre, 1990. Posición estratigráfica de los Rudistas de Camagüey, Cuba. En: *Caribbean Geological Conference* (12. : 1990 : St Croix). *Transactions 12th Caribbean Geological Conference*. -- p. 59-67.
- James, N. P., 1984. Reefs. En: *Facies Models* (Ed. by R. G. Walker) *Geoscience Canada* : 229-244.
- Johnson, C. C., 2002. The rise and fall of rudist reefs. *American Scientist* 90 (March- April) : 148-153.
- Johnson, C. C., E. G. Kauffman, 1990. Originations, radiations and extinctions of cretaceous rudistid bivalve species in the Caribbean province. En: *Proceedings of the Project 216 Global Biological Events in Earth History* (1990). *Proceedings of the Project 216: Global Biological Events in Earth History*.-- Berlin-Heidelberg : Springer-Verlag, 1990.-- p. 305-324.
- Johnson, C. C. y E. G. Kauffman, 1996. Maastrichtian extinction patterns of Caribbean province rudistids. En: MacLeod, N., G. Keller. *Cretaceous-tertiary mass extinctions: biotic and environmental changes*. -- New York : W.W. Norton, 1996. -- p. 231-273.
- Johnson, C. C., E. J. Barron, E. G. Kauffman, M. A. Arthur, P. J. Fawcett, M. K. Yasuda, 1996. Middle cretaceous reef collapse linked to ocean heat transport. *Geology* 24 (4) : 376-380.
- Kantshev, I., Boyanov, A. Goranov, N. Iolkichev, R. Cabrera, M. Kanazirski, N. Popov, N., y M. Stanchea, 1976. Geología de la provincia de Las Villas. Resultados de las investigaciones geológicas y levantamiento geológico a escala 1:250 000, realizado durante el período 1969-1975. Brigada Cubano - Búlgara. Inst. Geol. Paleont., Acad. Cienc. Cuba. Inédito.
- Kauffman, E. G., 1988. The dynamics of marine stepwise mass extinction. *Revista Española de Paleontología* (No. Extraordinario) : 57-71.
- Kauffman, E. G. y N. F. Sohl, 1974. Structure and Evolution of Antillean Cretaceous Rudist Frameworks. *Verhandl. Naturf. Ges. Basel*. 84 (1) : 399-467.
- Kauffman, E. G. y C. C. Johnson, 1988. The Morphological and ecological evolution of middle and upper cretaceous reef-building rudistids. *Palaios* 3 (Reefs Issue) : 194-216.
- Keijzer, F. G., 1945. Outline of the geology of the eastern part of the province of Oriente, Cuba, with notes on the geology of other parts of the Island; *Geogr. Geol. Mededeel (Utrecht)*. *Phys. Geol. Reeks*. 2 (6) . -- p. 1-239.
- Kerr, A. C., M. A. Iturralde-Vinent, A. D. Saunders, T. L. Babbs, J. Tarney , 1999. A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks. *Geolog. Socie. of Amer. Bull.* 111 (11) : 1581-1599.
- Lupu, D., 1974. Faune Sénonienne à Rudistes de la province de Pinar del Río (Cuba). *Dari de reama ale sedintelor vol. 61* (1973 – 1974) : 223 – 254.
- Mac Gillavry, H. J., 1937. Geology of the province of Camagüey, Cuba, with revisional studies in rudist paleontology. *Geogr. Geol. Mededeel (Utrecht)*. *Phys. Geol. Reeks* (14) : 169.
- Masse, J.-P., A. Chartrousse, J. Borgomano, 1998. The Lower Cretaceous (Upper Barremian-Lower Aptian) caprinid rudists from Northern Oman. En: *Congrés International sur les Rudistes* (4. : 1998). *Quatrième Congrès International sur les Rudistes*. *Geobios, Mém. sp.* 22. -- p. 211-224.
- Mitchell, S. F., G. C. Gunter, 2002. Biostratigraphy and taxonomy of the rudist *Chiapasella* in the Titanosarcolithes limestones (Maastrichtian) of Jamaica. *Cretaceous Research* 23 : 473-487.
- Molina, E., J.I. Arenillas, J.A. Arz, C. Díaz, D. García, A. Meléndez, R. Rojas, 2002a. Micropaleontología, Cronoestratigrafía y Sedimentología del límite Cretácico/Terciario en el NO de Cuba. *Geogaceta*, 32: 287-290.
- Molina, E., Alegret, L., Arenillas, I. Y Arz, J. A., 2002b. Taphonomy in analysis of the patterns of extinction at the Cretaceous / Tertiary boundary. En: *Current topics on taphonomy and fossilization* (M. De Renzi, ed.) *Ayuntamiento de Valencia*, 89 – 95.
- Mullerried, F. K. G., 1951. Paquiodontos nuevos del Cretácico Superior de Cuba. *Revista Sociedad Malacológica Carlos de la Torre* 8 (2) : 83-92 ilustr.
- Nicol, D., 1986. Some aspects of the evolution of the rudist pelecypods. *The Nautilus* 100 (2) : 69-71.
- Palmer, R. H., 1933. Nuevos Rudistas de Cuba. *Rev. Agricultura, Comercio y Trabajo* 14 : 95-125.
- Pantoja-Alor, J., 1999. The Michoacán Archipelago: Rudists biostratigraphy and palaeogeography of the Huetamo-San Lucas region, SW Mexico. En: *Congress on Rudist* (5. : 1999). *Fifth International Congress on Rudists. Abstracts and Field Trip Guides*. *Erlanger geol. Abh. Vol. Esp.* 3. -- p. 43-44.
- Pantoja-Alor, J. y P. W. Skelton, 1999. Polyconitid rudists from the Mal Paso Formation (Albian - Lower Cenomanian) around Chumbitaro, Guerrero, SW Mexico. En: *Congress on Rudist* (5. :



- 1999). Fifth International Congress on Rudists. Abstracts and Field Trip Guides. Erlanger geol. Abh. Vol. Esp. 3. -- p. 45-47.
- Pantoja-Alor, J., P. W. Skelton, J.-P. Masse, 1999. Barremian rudists of the San Lucas Formation, around San Lucas, Michoacán, SW Mexico. En: Congress on Rudist (5. : 1999). Fifth International Congress on Rudists. Abstracts and Field Trip Guides. Erlanger geol. Abh. Vol. Esp. 3. -- p. 47-49.
- Philip, J., 1999. Description of well-preserved specimens of *Macgillavryia* Rojas, Iturralde Vinent, Skelton, from the early Campanian of Filim (eastern Oman): Systematics and palaeobiogeographic implications. En: Congress on Rudist (5. : 1999). Fifth International Congress on Rudists. Abstracts and Field Trip Guides. Erlanger geol. Abh. Vol. Esp. 3. -- p. 53.
- Philip, J. y J. P. Platel, 1998. Nouvelles espèces de *Torreites* du Campanien du Haushi-Huqf, Sultanat d'Oman. En: Congrès International sur les Rudistes (4. : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Mém. sp. 22. -- p. 283-294.
- Pindell, J. L., and S. F. Barrett, 1990. Geologic evolution of the Caribbean: A plate-tectonic perspective, in G. Dengo, and J. E. Case, eds., *The Caribbean Region: The Geology of North America*, Geological Society of America, Boulder, Colorado, p. 405-432.
- Pons, J.M., J. H. Schroeder, R. Hofling y E. Muussavian, 1992. Upper Cretaceous rudist assemblages in northern Somalia. *Geologica Romana*, 28 : 219 – 241.
- Raup, D. M. y D. Jablonski, 1993. Geography of end-cretaceous marine bivalve extinctions. *Science* 260 (May 14) : 971-973.
- Rojas, R., 1999. Productividad de carbonatos en el dominio del Arco Volcánico Cretácico. Tesis (Master en Geología) - Universidad de Pinar del Río, 1999.
- Rojas-Consuegra, R., 2000a. El límite Cretácico / Terciario en la Formación Peñalver (Cuba Occidental): observaciones tafonómicas, paleoecológicas y paleogeográficas. *Rev. Geotemas* (2) 355-358. V Congreso Geológico de España. Julio, 2000.
- Rojas-Consuegra, R., 2000b. Taphonomic and palaeocological observations on the Peñalver formation, western Cuba. En: Intern. Confer. on Catastrophic Events and Mass Extinctions (2000 : Viena). Abstract of the Intern.Confer. on Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond. July 9-12, 2000. University of Viena, Austria. LPD Contribution No. 1053 : 183-184.
- Rojas-Consuegra, R., 2001. Debitas del Cretácico Superior Albiano en la formación Provincial, Cuba central. En: Congreso Cubano de Geología y Minería (4 : 2001 : La Habana). IV Congreso Cubano de Geología y Minería : Geomin 2001 : Memorias, trabajos y resúmenes [CD-ROM]. -- La Habana : CNDIG, 2001. -- p. 11-17
- Rojas-Consuegra, R., 2002a. Morphological evaluation of the American Hippuritids. En: International Congress on Rudist (6 : 2002 : Croatia). Abstracts book of the 6th International Congress on Rudists. September 29 - October 05, 2002. Rovinj, Croatia.
- Rojas-Consuegra, R., 2002b . Stratigraphic distribution of rudists's genera in the American province. En: Caribbean Geological Conference (16. : 2002 : Barbados). Abstract of the 16th Caribbean Geolog. Confer., Junio 16-21, 2002. Barbados. -- p. 66.
- Rojas-Consuegra, R., 2003. Morphological evaluation of the American Hippuritids (Rudists, Cuba). En: Congreso Cubano de Geología y Minería (5. : 2003 : La Habana). V Congreso Cubano de Geología y Minería : Geomin 2003 : Memorias, trabajos y resúmenes [CD-ROM]. -- La Habana : 2003. -- p. 3-8.
- Rojas, R., M. Iturralde-Vinent y P. W. Skelton, 1992. Cuban rudist fauna revisited. En: Conferencia Geológica del Caribe (13. : 1992 : Pinar del Río). Resúmenes de la 13va Conferencia Geológica del Caribe. Pinar del Río.Cuba. -- p. 7
- Rojas, R. y M. Iturralde-Vinent, 1995. Checklist of Cuban rudist taxa. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 12 (2) : 292-293.
- Rojas, R., M. Iturralde-Vinent, P. W. Skelton, 1995. Stratigraphy, Composition and Age of Cuban Rudist - bearing deposits. *Rev. Mex. de Ciencias Geológ.* 12 (2). -- p. 272-291.
- Rojas-Consuegra, R. y K. Nuñez-Cambra, 1997. Características de la cobertura Campaniano - Maastrichtiano del arco volcánico extinto en Cuba. En: Furrázola, G. y K. Núñez. *Estudios sobre Geología de Cuba*. IGP. Edit. Centro Nacional de Información Geológica. -- p. 418-421.
- Ross, D. J. & P. W. Skelton, 1993. Rudist formations of the Cretaceous: a palaeoecological, sedimentological and stratigrafical review. Blackwell Scientific Publications. Chapter 5, pp. 73-91.
- Rutten, M. G., 1936. Rudistids from the Cretaceous of Northern Santa Clara province, Cuba. *Jour. Paleont.* 10 (2) : 134-142.
- Sánchez-Roig, M., 1926. La fauna cretácica de la región central de Cuba. *Memorias de la Sociedad Cubana Historia Natutal "Feliipe Poey y Aloy"*. 7 : 83-102.





- Santos, H. y P. W. Skelton, 1996. New Antilocaprinids from the Cotui formation of SW Puerto Rico. En: Congrès International sur les Rudistes (4 : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Résumés / Abstracts, -- p. 44.
- Scott, R. W. 1990. Models and Stratigraphy of Mid-Cretaceous Reef Communities, Gulf of Mexico, Soc. Econ. Paleon. Miner. Conc. Sedim. Paleont. 2 : 102.
- Scott, R. W., 2002. Albian caprinid rudists from Texas re-evaluated. Journ. Paleontology 76 (3) : 408-423.
- Skelton, P. W., 1978. The Evolution of functional design in rudists (Hippuritacea) and its taxonomic implications. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. (284) : 305-318.
- Skelton, P. W., 1979. Preserved ligament in a radiolitid rudist bivalve and its implication of mantle marginal feeding in the group. Paleobiology 5 (2) : 90-106.
- Skelton, P., 1982. Aptian and barremian rudist bivalves of the new world: some old world similarities. Cretaceous Research 3 : 145-153.
- Skelton, P. W., 1988. The trans-Pacific spread of equatorial shallow-marine benthos in the Cretaceous. En: Audley-Charles, M. G., A. Hallam, ed. Gondwana and Tethys. Geological Society Special Publication No. 37. -- p. 247-253.
- Skelton, P. W., 1991. Morphogenetic versus environmental cues for adaptive radiations. En: Schmidt-Kittler, N., K. Vogel, (eds). Constructional Morphology and Evolution. -- Berlin : Springer-Verlag, 1991. -- p. 375-388.
- Skelton, P. W. y V. P. Wright, 1987. A Caribbean rudist bivalve in Oman: Island-Hopping across the Pacific in the late cretaceous. Palaeontology 30 (part 3) : 505-529.
- Skelton, P. W. y E. Gilli, 1991. Palaeocological classification of rudist morphotypes. En: International Conference on Rudists (1. : 1988 : Belgrade). First International Conference on Rudists. Proceedings.-- Belgrade : Serbian Geological Society, 1991. -- p. 71-86.
- Skelton, P. W., E. Gili, E. Vicens, A. Obrador, 1995. The growth fabric of gregarious rudist elevators (hippuritids) in a santonian carbonate platform in the southern central Pyrenees. Palaeo 119 : 107-126.
- Skelton, P. W. y J. P. Masse, 1998. Revision of the Lower Cretaceous rudist genera Pachytraga Paquier and Retha Cox (Bivalvia: Hippuritacea), and the origins of the Caprinidae. En: Congrès International sur les Rudistes (4. : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Mém. sp. 22. -- p. 331-370.
- Skelton, P. W. y R. Rojas, 1998. Overview of Rudist Biostratigraphy in the Volcanic Arc Sequences of the Greater Antilles. Caribbean Geological Conference (15. : 1998 : Kingston). 15th Caribbean Geological Conference. Abstracts. Kingston, Jamaica. -- p.10-11.
- Steuber, T., C. Yilmaz, H. Löser, 1998. Growth rates of Early Campanian rudists in a siliciclastic-calcareous setting (Pontid Mts, North Central Turkey). En: Congrès International sur les Rudistes (4. : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Mém. sp. 22. -- p. 385-402.
- Steuber, T., S. F. Mitchell, Dieter Buhl, Gavin Gunter, Haino U. Kasper, 2002. Catastrophic extinction of Caribbean rudist bivalves at the cretaceous-tertiary boundary. Geology 30 (11) : 999-1002.
- Stössel, I., 1999. Rudists and carbonate platform evolution: the Late Maiella Carbonate Platform Margin, Abruzzi, Italy. Mem. Sci. Geol. V. 51 (2): p. 333-413.
- Tada, R., Y. Nakano, M.A. Iturralde-Vinent, S. Yamamoto, T. Kamada, E. Tajika, K. Toyoda, S. Kiyokawa, D. Garcia Delgado, T. Oji, K. Goto, H. Takayama, R. Rojas, T. Matsui, (2002). Complex tsunami waves suggested by the Cretaceous-Tertiary boundary deposit at the Moncada section, western Cuba. In Koeberl, C., and MacLeon, K.G., eds. Catastrophic events and mass extinctions: Impacts and Beyond: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 356, p. 109-123.
- Takayama, H., R. Tada, T. Matsui, M.A. Iturralde-Vinent, T. Oji, E. Tajika, S. Kiyokawa, D. Garcia, H. Okada, T. Hasegawa, K. Toyoda, 2000. Origin of the Peñalver Formation in northwestern Cuba and its relation to K/T boundary impact event. Sedimentary Geology, v. 135. -- p. 295-320.
- Tchounev, D. y Tz. Dimitrova, E., 1981. Informe del Levantamiento geológico 1:250 000 de las provincias de Ciego de Avila – Camagüey. ACC-AC de Bulgaria. Oficina Nacional de Recursos Minerales (inédito). La Habana.
- Thiadens, A., 1936a. On some Caprinids and a Monopleurid from Southern Santa Clara, Cuba. Konin. Akad. Van Wetenschap. Te Amsterdam. 39 (9) : 1132-1141.
- Thiadens, A., 1936b. Rudistids from Southern Santa Clara, Cuba. Konin. Akad. Van Wetenschap. Te Amsterdam. 39 (8) : 1010-1019.
- Torre, A. de la, 1960. Nota sobre rudistas. Mem. Soc. Cubana de Hist. Nat. 25 : 51-64.
- Torre, A. de la, P. Jakus, J. F. de Albear, 1978. Nuevos datos sobre las asociaciones de Rudistas en Cuba. Geología en Mijnbouw 57 : 143-150.



- Torre, A. de la, P. Jakus, J. F. de Albear, 1983. Nuevos datos sobre las asociaciones de Rudistas en Cuba. En: Instituto de Geología y Paleontología. Contribución a la Geología de Cuba Oriental. -- [La Habana] : Editorial Científico – Técnica, [C. 1983]. -- p. 206 - 216.
- Torre, C. de la, 1915. Descubrimiento de interesantes fósiles del género *Barrettia* y otros rudistas característicos del período Cretáceo en Camagüey (Cuba). *Anales Aca. Ciencias* 52 : 824-827.
- Trechmann, C. T., 1924. The cretaceous limestone of Jamaica and their mollusca. *The Geological Magazine* 61 (9) : 385-410.
- Vermunt, L. W. J., 1937. Cretaceous Rudistids of Pinar del Rio Province, Cuba. *Journal of Paleontology*. 11 (4) : 261-275.
- Vicens, E., 1993. Variabilidad intraespecífica en *Radiolitidae* Gray - Implicaciones taxonómicas. En: International Conference on Rudist (3. : 1993). Third International Conference on Rudists, Proceedings. -- p. 65.
- Vicens, E, y E. Gili, 1995. Características morfológicas y paleoecológicas de los Hipurítidos. *Revista Española de Paleontología*, 10 (2) : 130-139.
- Wessem, A. Van, 1943. Geology and paleontology of central Camagüey, Cuba. *Geogr. Geol. Mededeel (Utrecht), Phys. Geol. Reeks*, 5:1-91.



## ANEXOS

### Anexo 1 Desarrollo del conocimiento sobre las Asociaciones de Rudistas del Caribe

Edad	Douvillé, H., 1926-27 (Cuba)	Chubb, L. J., 1956 (Antillas)	Torre, De La., A., 1960 (Cuba)	Chubb, L. J., 1961 (Antillas)	Lupu, 1974 (Cuba occidental)
?Barremiano					
Barremiano					
?Barremiano Medio					
Aptiano Inferior					
Albiano Inferior					
Albiano Medio					
Albiano Superior					
Albiano - Cenomaniano					
Cenomaniano - Turoniano	<i>Caprina</i> , <i>Plagioptychus</i> y <i>Bournonia</i> (Cenomaniano – Turoniano)	Fauna de <i>Tepeyacia</i> (Cenomaniano – Turoniano)	Fauna de <i>Tepeyacia</i> (Cenomaniano – Turoniano Inferior)	Fauna de <i>Tepeyacia</i> (Cenomaniano – Turoniano)	
Santoniano	"Conchas de <i>Bournonia</i> ". <i>B. lombricoides</i> , <i>Parabournonia</i> (Santoniano)	Fauna de <i>Barrettia</i> (Turoniano Superior – Santoniano Inferior)		Fauna de <i>Durania</i> (posible Santoniano o Coniaciano)	
Campaniano	<i>Barrettia sparcilirata</i> y <i>Antillocaprina occidentales</i> (Campaniano)		Fauna de <i>Durania</i> y <i>Vaccinites</i> (probab. Campaniano Superior)	Fauna de <i>Barrettia</i> (Campaniano)	Zona de <i>Bournonia</i> (Campaniano)
Maastrichtiano Inferior	<i>Titanosarcollites giganteus</i> , <i>Biradiolites cubensis</i> y <i>Vaccinites sanchezi</i> (Maastrichtiano Inferior).				Zona de <i>Praebarrettia</i> (Maastrichtiano ?Inferior)
Maastrichtiano	<i>Barrettia monilifera</i> y <i>Parastroma sanchezi</i> (Maastrichtiano).	Fauna de <i>Titanosarcollites</i> (Maastrichtiano)	Fauna de <i>Titanosarcollites</i> , también <i>Barrettia</i> (Maastrichtiano)	Fauna de <i>Titanosarcollites</i> (Maastrichtiano)	Zona de <i>Antillocaprina</i> y Zona de <i>Titanosarcollites</i> (Maastrichtiano Medio – Superior)



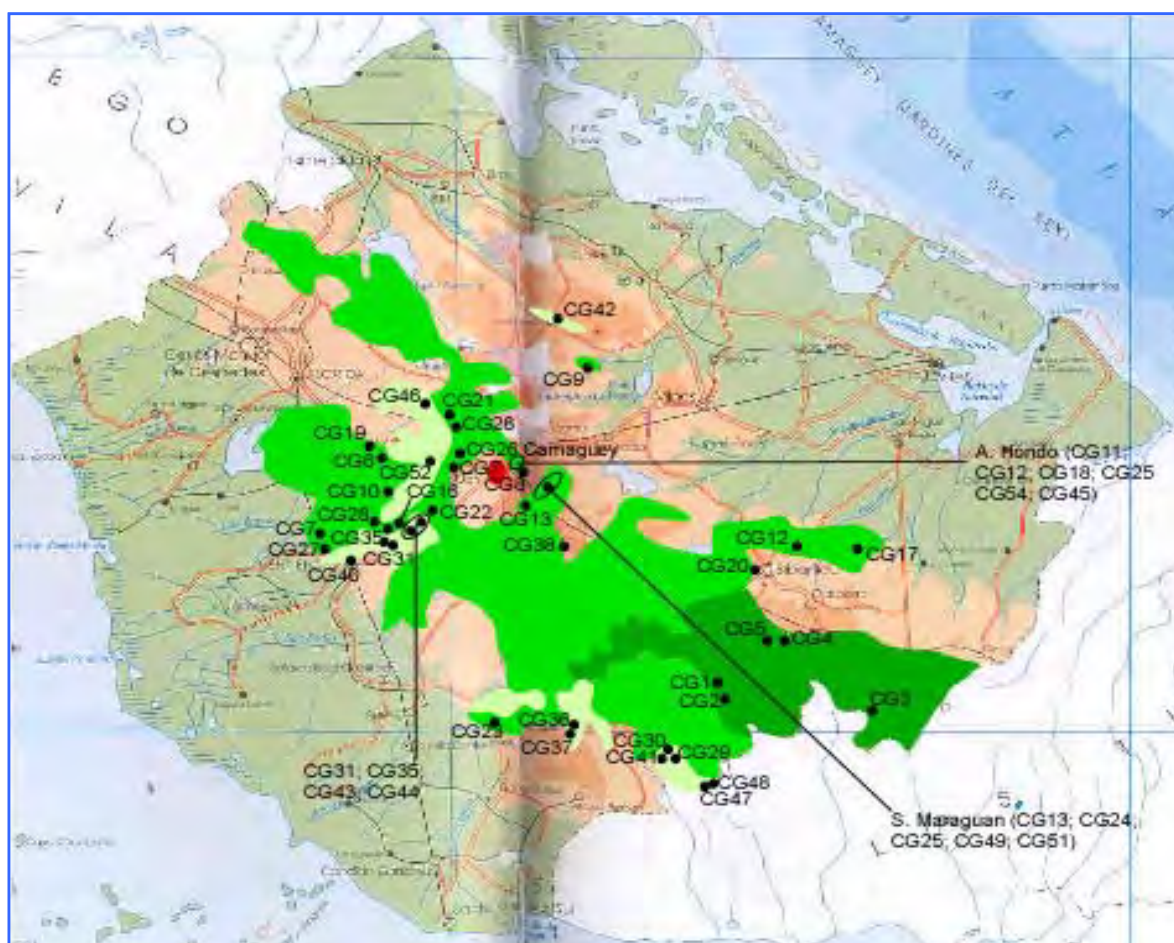
Cont.

Torre <i>et al.</i> , 1978, 1983 (Cuba)	Iturralde-Vinent y Torre, 1990 (Cuba)	Rojas <i>et al.</i> , 1995 (Cuba)	Skelton y Rojas, 1998 (Antillas)	Presente trabajo (Cuba)
		<i>Amphitriscoelus</i> (primitiva) (Aptiano Inferior)	Fauna de <i>Reta tula</i> (?Barremiano) <i>Amphitriscoelus</i> (primitiva) (Barremiano)  <i>Offneria</i> (n. sp) (?Barremiano Medio)  <i>Amphitriscoelus waringi</i> (Aptiano Inferior)  <i>Coalcomana ramosa</i> , <i>Caprinuloidea lenki</i> / <i>perfecta</i> (Albiano Inferior) <i>Caprinuloidea anguis</i> / <i>gracilis</i> , <i>Caprinuloidea</i> <i>felixi</i> / <i>multitubifera</i> (Albiano Medio) <i>Caprinuloidea</i> <i>lencki</i> / <i>perfecta</i> , <i>Toucasia hancockensis</i> (?Albiano Medio) <i>Tepetacia corrugata Kimbleia albrittoni</i> , <i>Capinuloidea felixi</i> / <i>multitubifera</i> (Albiano Superior)	Asociación de <i>Amphitriscoelus waringi</i> (Aptiano Inferior)  (D) <i>Coalcomana ramosa</i> (Albiano Inferior)  Asociación de <i>Tepeyacia</i> <i>corrugata</i> (Albiano Medio - Superior)  <i>Eoradiolites</i> (Albiano ?Superior)
Fauna de <i>Tepeyacia</i> (Cenomaniano – Turoniano)	Fauna de <i>Tepeyacia</i> (Albiano - Cenomaniano)  Frag. Rudistas indet.	Fauna de <i>Tepeyacia</i> (Albiano - Cenomaniano)		
Fauna de <i>Durania</i> (posible Coniaciano - Santoniano)	Fauna de <i>Durania curasavica</i> (Santoniano)	Fauna de <i>Durania curasavica</i> (Santoniano)	<i>Barrettia coatesi</i> , <i>Torreites tschoppi</i> , <i>Antilocarpinidos</i> (n. spp.) y <i>Macgillavryia</i> (n. sp.) (Santoniano)	Asociación de <i>Durania</i> <i>curasavica</i> (Santoniano)
Fauna de <i>Barrettia</i> (Maastrichtiano Inferior parte alta - Superior)	Fauna de <i>Barrettia monilifera</i> (Campaniano)	Fauna de <i>Barrettia monilifera</i> (Campaniano)	<i>Barrettia monilifera</i> , <i>Titanosarcollites alatus</i> (Campaniano)	Asociación de <i>Barrettia</i> <i>monilifera</i> (Campaniano)
Fauna de <i>Titanosarcollites</i> (Maastrichtiano)	Fauna de <i>Titanosarcollites</i> (Maastrichtiano)	Fauna de <i>Titanosarcollites</i> (Maastrichtiano)	<i>Titanosarcollites giganteus</i> , <i>Macgillavryia nicholasi</i> (Maastrichtiano)	Asociación de <i>Titanosarcollites giganteus</i> (Maastrichtiano)

## Anexo 2 Lista taxonómica de las especies de Rudistas reportadas en Cuba.

CAPRINIDAE d'Orbigny, 1850	
<i>Caprina douvillei</i> Paquier, 1905 <i>Pachytraga paradoxa</i> (Pictet & Campiche, 1869) <i>Offneria simplex</i> Chartrousse y Masse, 1998 <i>Amphitriscoelus waringi</i> Harris & Hodson, 1922 <i>Caprinuloidea perfecta</i> Palmer, 1928	<i>C. multitubifera</i> Palmer, 1928 <i>Caprinuloidea</i> sp. <i>Coalcomana ramosa</i> (Boehm, 1898) <i>Kimbleia albrittoni</i> (Perkins, 1961) <i>Texicaprina</i> sp.
POLYCONITIDAE Mac Gillavry, 1937	
<i>T. corrugata</i> Palmer, 1928	
HIPPURITIDAE Gray, 1848	
<i>Hippurites mullerriedi</i> (Vermunt, 1937) <i>Hippurites</i> sp. <i>Vaccinites macgillavryi</i> Palmer, 1933 <i>V. vermunti</i> (Mac Gillavry), 1937 <i>Vaccinites</i> sp. <i>Barretta monilifera</i> Woodward, 1862 <i>B. multilirata</i> Whitfield, 1897 <i>B. gigas</i> Chubb, 1971	<i>Parastroma guitarti</i> (Palmer, 1933) <i>P. sanchezi</i> Douvillé, 1926 <i>Praebarrettia corrali</i> (Palmer, 1933) <i>P. porosa</i> Palmer, 1933 <i>P. sparcilirata</i> (Whitfield, 1897) <i>Praebarrettia</i> sp. <i>Torrites sanchezi</i> Douvillé, 1927 <i>T. tschoppi</i> MacGillavry, 1937
RADIOLITIDAE Gray, 1848	
<i>"Radiolites" macroplicatus</i> Whitfield, 1897a <i>Radiolites</i> sp. <i>Eoradiolites</i> sp. <i>Biradiolites cancellatus</i> (Whitfield, 1897) <i>B. cubensis</i> Douvillé, 1926 <i>B. jamaicensis</i> Trechmann, 1924b <i>B. rudissimus</i> Trechmann, 1924b <i>B. tschoppi</i> Vermunt, 1937 <i>B. mooretownensis</i> Trechmann, 1924 <i>B. e. gr. aquitanicus</i> Adkins <i>Biradiolites</i> sp. <i>Tyrasthylon adhaerens</i> (Whitfield, 1897) <i>Bourmonia hispida</i> Douvillé, 1926	<i>B. planasi</i> Thiadens, 1936 <i>B. thiadensi</i> Vermunt, 1937 <i>Bourmonia</i> sp. <i>Sauvagesia</i> sp. <i>Durania curasavica</i> (Martin, 1885) <i>D. lopeztrigoi</i> (Palmer), 1933 <i>Durania</i> sp. <i>Tampsia rutteni</i> Vermunt, 1937 <i>Macgillavryia nicholasi</i> (Whitfield, 1897) <i>Chiapasella radiolitiformis</i> (Trechmann), 1924 <i>Ch. cubensis</i> Rutten, 1936 <i>Chiapasella</i> sp.
ANTILLOCAPRINIDAE Mac Gillavry, 1937	
<i>Antillocaprina annulata</i> (Palmer, 1933) <i>A. pugniformis</i> (Palmer, 1933) <i>A. crassitela</i> MacGillavry, 1937 <i>A. stellata</i> Chubb, 1967 <i>A. occidentalis</i> (Whitfield, 1897a)	<i>Antillocaprina</i> sp. <i>Titanosarcolithes giganteus</i> (Whitfield, 1897a) <i>T. alatus</i> Chubb, 1971 <i>T. cf. alatus</i> Chubb, 1971 <i>T. macgillavryi</i> Alencáster, 1971
PLAGIOPTYCHIDAE Douvillé, 1888	
<i>Plagioptychus antillarum</i> (Douvillé, 1927) <i>Plagioptychus</i> sp. <i>Mitrocaprina tschoppi</i> (Palmer, 1933)	<i>M. palmeri</i> Mac Gillavry, 1937 <i>M. bayani</i> (Douvillé, 1888) <i>Mitrocaprina</i> sp.
REQUIENIIDAE DOUVILLÉ, 1919	
<i>Apricardia</i> sp.	

**Anexo 3 Ejemplo del Mapa de la distribución estratigráfica de las localidades con Rudistas (Provincia de Camagüey).**



Leyenda: CG – Camagüey, 40- Número de la localidad en la tabla de localidades (siguiente anexo). Colores: Verde oscuro (gris oscuro) – Albiano; Verde (gris intermedio) – Santoniano – Campaniano; Verde claro (gris claro) – Maastrichtiano.

**Anexo 4 Tabla de localidades con fauna de Rudistas en Cuba, formación geológica y especies reportadas.**

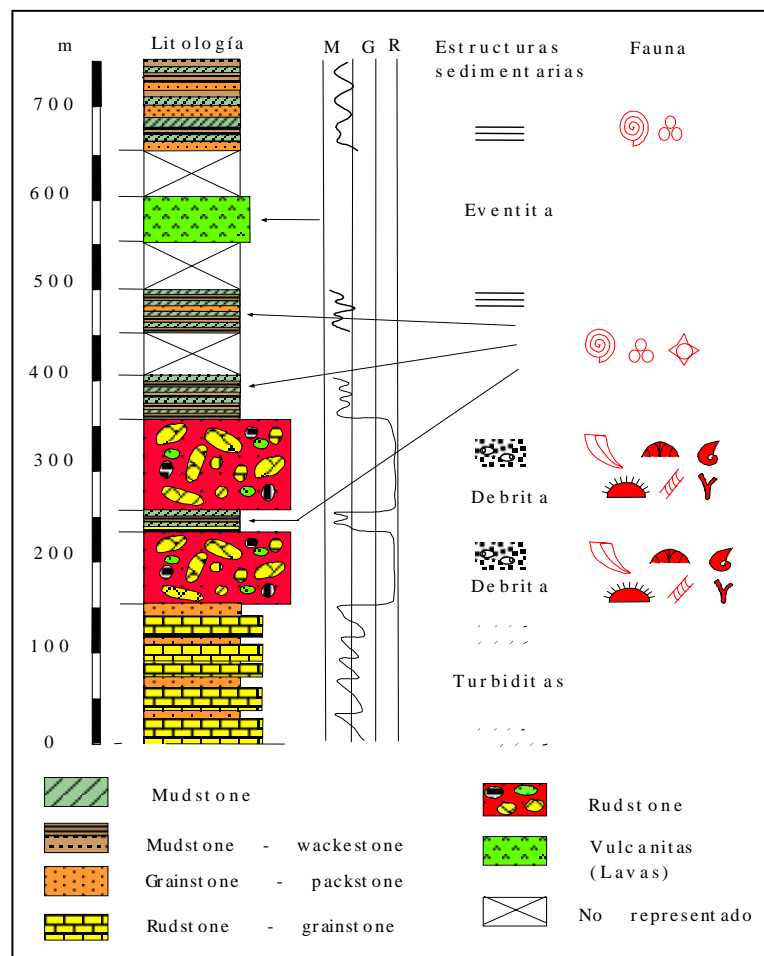
Cdgo	Localidad	Provincia	Formación	Especies
CG1	F235a. El Canario, a aprox. 5Km al SW de Guimaro, entre Jobabo y Cuatro Camino.	Camagüey	Guaimaro	<i>Tepeyacia corrugata</i> .
CG2	F235c. Terraplen de Jobabo a Cuatro Camino, pobl. Alba Flores.	Camagüey	Guaimaro	<i>Tepeyacia corrugata</i> , <i>Caprinuloidea multitubifera</i> , <i>Caprinuloidea perfecta</i> , <i>Caprinuloidea sp.</i> , <i>Mexicaprina sp.</i>
CG3	H222. Aprox. al NE del Central Colombia, 10Km al SE de Guaimaro.	Camagüey	Guaimaro	<i>Tepeyacia corrugata</i> .
CG4	C-33. La Loma	Camagüey	Guaimaro	<i>Caprinidos</i> .
CG5	C-34. Loma La Caridad, al W de C-33	Camagüey	Guaimaro	<i>Caprinidos</i> .
CG6	L702. Carr. Central al W de Camagüey, aprox. 5 Km al SE de La Vallita.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> .
CG7	L735. Carr. Central al W de Camagüey.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> .



Cdgo	Localidad	Provincia	Formación	Especies
CG8	L662. Camino de Maraguan, aprox. 7 Km al E de Camagüey, aprox. 500 m al S de la Fca. Arroyo Hondo.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> , <i>Parastroma sanchezi</i> .
CG9	Fca. Yucatán, 1.1 km NW de Puerta de Fca. Arango. Loc. 1074 Palmer.(V529. MacGillavry)	Camagüey	Piragua (St)	<i>Durania lopeztrigo</i> , <i>Durania curasavica</i> , <i>Præbarrettia corrali</i> , <i>Plagioptychus</i> sp., <i>Vaccinites inaequicostatus macgillavryi</i> , <i>Torreites tschoppi</i> .
CG10	Cantera Paris, Fca. Santa. Teresa, Carr. e/ Florida y Camagüey, cerca del Rio Los Negros.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> .
CG11	Fca. Arroyo Hondo 4, en el entronque del camino, a 4 km al E de Camagüey.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> .
CG12	V228a. Aprox. 7 Km al NW de Cascorro y 3 km al NE de Sibanicú.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> .
CG13	H716b. aprox. 10 km al SE de Camagüey.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> .
CG14	C8.1323	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> .
CG15	Fca. Sanchez Agramonte	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> .
CG16	C-176. 2.5Km al E de San Jose de los Jibaros, Carretera de Camagüey a Vertiente.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> , <i>Macgillavryia</i> sp.
CG17	C-210. W de Loma Jasinto, 10km NNE de Cascorro.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> , <i>Macgillavryia</i> sp., <i>Plagioptychus</i> sp.
CG18	C-6. Loma la Siguapa, camino de Maraguan.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia monilifera</i> , <i>Plagioptychus</i> sp., <i>Macgillavryia</i> sp. (yac. in situ)
CG19	Ingenio Viejo, a 1 km al NW, Algarrobo.	Camagüey	Piragua	<i>Barrettia</i> sp.
CG20	H670=Ts1098. Carret. Central, Cantera L. Caballero, 9 Kmal W de Sibanicu.	Camagüey	Piragua	<i>Biradiolites</i> sp., <i>Biradiolites</i> ex. gr. <i>acuticostatus</i> , <i>Barrettia monilifera</i> , <i>Macgillavryia</i> sp., <i>Plagioptychus</i> sp.
CG21	Santa Rosa	Camagüey	Piragua	<i>Hippuritidae</i> .
CG22	Ingenio Grande 2	Camagüey	Piragua	<i>Parastroma sanchezi</i> .
CG23	Sierra Najasa 2. Sta. Cruz del Sur	Camagüey	Piragua	<i>Parastroma sanchezi</i> .
CG24	Sierra Maraguan.	Camagüey	Piragua	<i>Parastroma sanchezi</i> , <i>Biradiolites cubensis</i> .
CG25	Arroyo Hondo 2	Camagüey	Piragua	<i>Parastroma sanchezi</i> , <i>Biradiolites cubensis</i> , <i>Plagioptychus antillarum</i> , <i>Bournonia hispida</i> , <i>Barrettia monilifera</i> .
CG26	Portada Fca. Sta. Rita, C. Central, e/Florida y Camagüey, Km. 561 más 100 m.	Camagüey	Piragua	<i>Parastroma sanchezi</i> , <i>Tampsia rutteni</i> , <i>Barrettia monilifera</i> .
CG27	2 km al SW de La Diana, 6km al NW de la carretera de Camagüey a Vertientes.	Camagüey	Piragua	<i>Titanosarcolithes alatus</i> , <i>Barrettia monilifera</i> , <i>Titanosarcolithes</i> sp.
CG28	La Graciela, 12km al NNE de Vertientes.	Camagüey	Piragua	<i>Parastroma sanchezi</i> , <i>Barrettia</i> sp.
CG29	H230=H689. 4km al E de Las Pulgas.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Bournonia</i> sp., <i>Titanosarcolithes giganteus</i> .
CG30	H24. 3km al E de Las Pulgas.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Titanosarcolithes giganteus</i> .
CG31	H699. Carret. a Camagüey, aprox. 12 Km al NE de Vertientes.	Las Tunas	Jimaguayú	<i>Biradiolites mooretownensis</i> , <i>Biradiolites</i> sp., <i>Parastroma guitarti</i> .
CG32	Ts1104. ?	Camagüey	Jimaguayú	<i>Biradiolites mooretownensis</i> , <i>Parastroma guitarti</i> .
CG33	Ts1439	Camagüey	Jimaguayú	<i>Biradiolites mooretownensis</i> , <i>Radiolitidae</i>
CG34	Ts1105	Camagüey	Jimaguayú	<i>Biradiolites</i> sp.
CG35	H697. Cerca de Ingenio Grande, aprox. 10 Km al NE de Vertientes.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Bournonia</i> sp., <i>B. mooretownensis</i> , <i>Biradiolites</i> sp., <i>T. giganteus</i> , <i>Titanosarcolithes</i> cf. <i>alatus</i> , <i>P. guitarti</i> , <i>Mitrocaprina palmeri</i> , <i>Apricardia</i> sp.
CG36	C-195. 15km al N de Monte Grande, carr. de Santa Cruz del Sur	Camagüey	Jimaguayú	<i>Macgillavryia nicholas</i> .

Cdgo	Localidad	Provincia	Formación	Especies
CG37	M840. Extremo W de Sierra de Najasa.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Parastroma guitarti</i> , <i>Bournonia</i> sp.
CG38	V469. A aprox. 9 Km de Vidot, carr. a Camagüey.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Parastroma guitarti</i> , <i>Bournonia</i> sp.
CG39	M874. A aprox. 7 Km al SSE de la ciudad de Camagüey.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Parastroma guitarti</i> , <i>Titanosarcollites giganteus</i> .
CG40	L684. Vertiente norte de Sierra de Najasa.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Parastroma guitarti</i> , <i>Antilocaprina stellata</i> , <i>Antilocaprina</i> sp., <i>Macgillavrya nicholasi</i> , <i>Bournonia</i> sp.
CG41	H689=H230. Zona de La Esperanza, S. de Najasa	Camagüey	Jimaguayú	<i>Titanosarcollites giganteus</i> , <i>Biradiolites</i> sp.
CG42	Paso de Lesca, Sierra de Cubitas	Camagüey	Purio	<i>Biradiolites mooretownensis</i> , <i>Titanosarcollites</i> cf. <i>alatus</i> , <i>Sauvagesia</i> sp., <i>Antilocaprina</i> sp., <i>Mitrocaprina</i> sp., <i>Macgillavrya</i> sp., <i>Radiolitidae</i> .
CG43	Ingenio Grande = San José de los Jíbaros, 4 Km al SW de Camagüey, Carretera a Vertientes.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Biradiolites mooretownensis</i> , <i>Titanosarcollites giganteus</i> , <i>Titanosarcollites</i> sp., <i>Barrettia multilirata</i> , <i>Barrettia</i> sp.
CG44	2km al SW de Ingenio Grande.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Parastroma guitarti</i> .
CG45	Fca Arroyo Hondo 5. A 8.5km NW de C.C. 4km al E de Camagüey.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Praebarrettia sparcilirata</i> , <i>Praebarrettia</i> sp., <i>Parastroma guitarti</i> , <i>Parastroma</i> sp., <i>Antilocaprina occidentalis</i> , <i>Antilocaprina</i> sp., <i>Bournonia</i> sp., <i>Biradiolites mooretownensis</i> , <i>Titanosarcollites giganteus</i> .
CG46	Santa Rosa, a 1,5 km al SE.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Tampsia</i> sp., <i>Barrettia</i> sp.
CG47	Fca. Belén, estratigrafic. sobre 1454, 8km al SSW de Cuatro Caminos	Camagüey	Jimaguayú	<i>Titanosarcollites giganteus</i> , <i>Titanosarcollites</i> sp.
CG48	Sierra de Najasa 1, Sta. Cruz del Sur	Camagüey	Jimaguayú	<i>Titanosarcollites giganteus</i> , <i>Titanosarcollites</i> sp., <i>Biradiolites mooretownensis</i> .
CG49	Fca. Arroyo Hondo 3, en el entronque del camino, a 4 km al E de Camagüey	Camagüey	Jimaguayú	<i>Titanosarcollites giganteus</i> .
CG50	Ojo de Agua, SE esquina de Fca. Loma Alta	Camagüey	Jimaguayú	<i>Titanosarcollites giganteus</i> , <i>Titanosarcollites</i> sp.
CG51	Fca. Del Dr. Sánchez Agramonte. Arroyo Hondo 6.	Camagüey	Jimaguayú	<i>Titanosarcollites</i> sp.
CG52	Fca. Santa Teresa, (potreros Sta. Ana). Florida. (Palmer 2674?)	Camagüey	Jimaguayú	<i>Biradiolites mooretownensis</i> , <i>Biradiolites</i> sp., <i>Barrettia</i> sp.
CG53	C-219. Cantera al W de la carr. de Elia.	Camagüey	El chorrillo, (Jimaguayú)	<i>Titanosarcollites</i> cf. <i>alatus</i> , <i>Titanosarcollites</i> sp.

**Anexo 5. Ejemplo de columna litológica. Sección estratigráfica de la Fm. Provincial, Sierra de Maria Rodríguez, Villa Clara. (Reinterpretado de Kantshev *et al.*, 1976). Nótese la macrofauna reelaborada.**



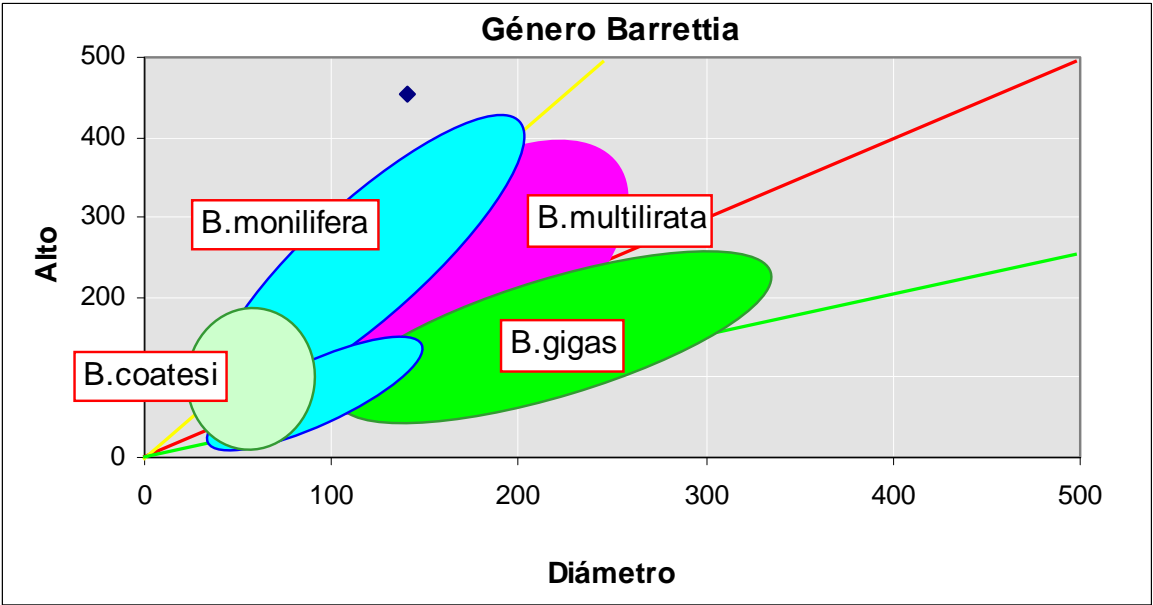
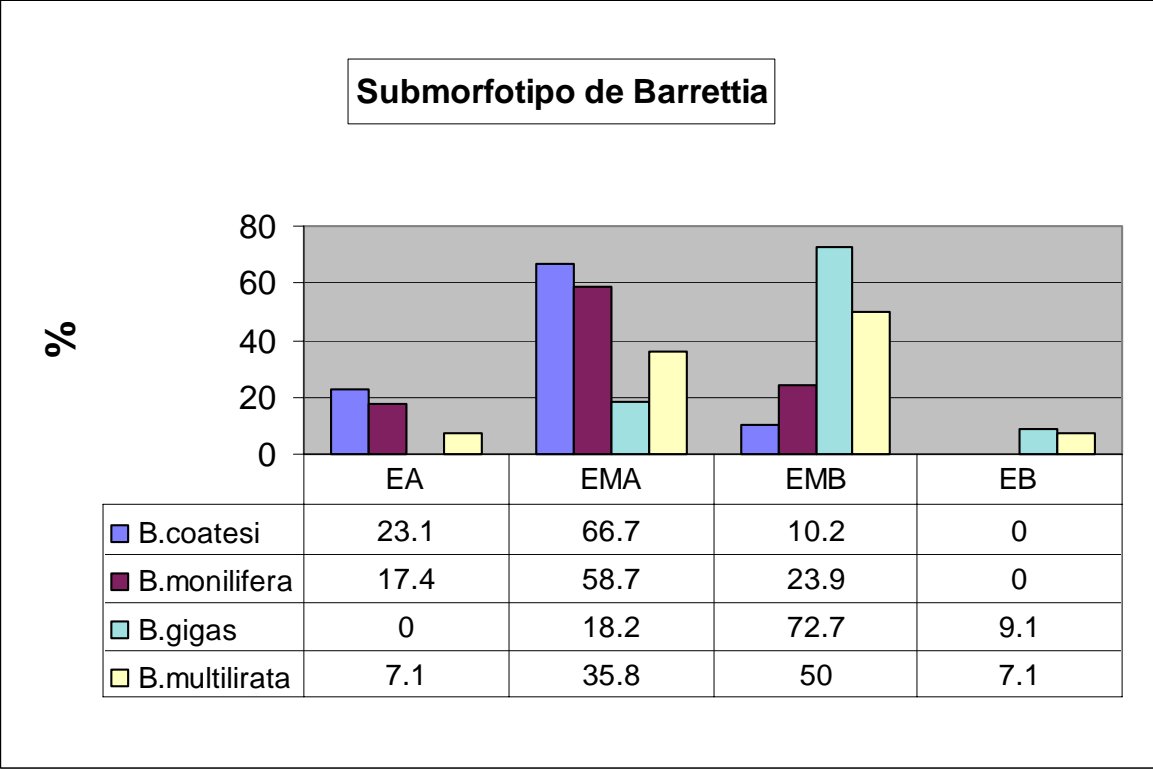
**Anexo 6 Lista de especies por edades (asociaciones fósiles) y unidades tectono - estratigráficas (según modelo de evolución geológica de Cuba de Iturralde-Vinent, 1998).**

<b>Megaplataforma Florida – Bahamas</b>	
<u>Aptiano inferior</u>	
1 - <i>Amphitriscoelus waringi</i>	3 - <i>Offneria simplex</i>
2 - <i>Caprina douvillei</i>	4 - <i>Pachytraga paradoxa</i>
<b>Plataforma de Bahamas</b>	
<u>Albiano</u>	
1- <i>Eoradiolites</i> sp.	
<u>Maastrichtiano</u>	
1 - <i>Titanosarcollites</i> cf. <i>alatus</i>	3 - <i>Mitrocaprina</i> sp.
2 - <i>Antillocaprina annulata</i>	4 - <i>Biradiolites</i> spp.
<b>Arcos Volcánicos</b>	
<u>Albiano Medio – Superior</u>	
1 - <i>Caprinuloidea multitubifera</i>	5 - <i>Kimbleia albrittoni</i>
2 - <i>Caprinuloidea perfecta</i>	6 - <i>Tepeyacia corrugata</i>
3 - <i>Caprinuloidea</i> sp.	7 - <i>Texicaprina</i> sp.
4 - <i>Coalcomana ramosa</i>	
<u>Santoniano</u>	
1 - <i>Durania curasavica</i>	5 - <i>Vaccinites macgillavryi</i>
2 - <i>Durania lopeztrigoi</i>	6 - <i>Plagioptychus</i> sp.
3 - <i>Praebarrettia corrali</i>	7 - ? <i>Mitrocaprina</i> sp.
4 - <i>Torreites tschoppi</i>	
<u>Campaniano Inferior – Medio</u>	
1 - <i>Barrettia monilifera</i>	9 - <i>Parastroma sanchezi</i>
2 - <i>Barrettia multilirata</i>	10 - <i>Plagioptychus antillarum</i>
3 - <i>Barrettia gigas</i>	11 - <i>Radiolites macroplicatus</i>
4 - <i>Biradiolites cubensis</i>	12 - <i>Tampsia rutteni</i>
5 - <i>Biradiolites rudissimus</i>	13 - <i>Titanosarcollites alatus</i>
6 - <i>Bournonia hispida</i>	14 - <i>Torreites sanchezi</i>
7 - <i>Macgillavryia nicholasi</i>	15 - <i>Vaccinites vermunti</i>
8 - <i>Mitrocaprina bayani</i>	16 - ? <i>Antillocaprina</i> sp.
<b>Cuencas de Postvolcánica (Piggy Back)</b>	
<u>Campaniano Superior – Maastrichtiano</u>	
1 - <i>Antillocaprina annulata</i>	15 - <i>Hippurites mullerriedi</i>
2 - <i>Antillocaprina crasitella</i>	16 - <i>Macgillavryia nicholasi</i>
3 - <i>Antillocaprina occidentalis</i>	17 - <i>Mitrocaprina palmeri</i>
4 - <i>Antillocaprina pugniformis</i>	18 - <i>Mitrocaprina tschoppi</i>
5 - <i>Antillocaprina stellata</i>	19 - <i>Parastroma guitarti</i>
6 - <i>Apricardia</i> sp.	20 - <i>Praebarrettia sparcilirata</i>
7 - <i>Barrettia multilirata</i>	21 - <i>Praebarrettia porosa</i>
8 - <i>Biradiolites mooretownensis</i>	22 - <i>Plagioptychus</i> sp.
9 - <i>Biradiolites tshoppi</i>	23 - <i>Titanosarcollites giganteus</i>
10 - <i>Biradiolites cancellatus</i>	24 - <i>Titanosarcollites macgillavryi</i>
11 - <i>Biradiolites jamaicensis</i>	25 - <i>Titanosarcollites</i> cf. <i>alatus</i>
12 - <i>Bournonia planasi</i>	26 - <i>Thyrastylon adhaerens</i>
13 - <i>Bournonia thiadensi</i>	27 - <i>Sauvagesia</i>
14 - <i>Chiapasella radiolitiformis</i>	

**Anexo 7 Ejemplo de depósitos de diferentes edades que contienen fauna de Rudistas reelaborada, como consecuencia de distintos procesos de producción tafogénica.**

<b>Depósito</b>	<b>Entidad reelaborada</b>	<b>Unidad</b>	<b>Edad de origen</b>	<b>Edad de reelaboración</b>
Debitas	<i>C. ramosa</i> , corales, gasterópodos	Fm. Provincial	Albiano temprano	Albiano medio tardío
Aluvios y Eluvios	<i>B. monilifera</i> , <i>P. sanchezi</i>	Fm. Jimaguayú	Campaniano	Maastrichtiano
Conglomerado polimíctico	<i>T. giganteus</i> , Rud. Indet..	Fm. Cañas Fm. Picota	Campaniano - Maastrichtiano	Maastrichtiano
Debitas	<i>T. giganteus</i> , <i>B. mooretownensis</i>	Fm. Peñalver	Maastrichtiano	Límite K / T
Brecha calcárea	<i>T. giganteus</i> , <i>Radiolítidos</i>	Fm. Florida	Maastrichtiano	Eoceno inferior
Olistostroma	<i>P. sanchezi</i> , otros	Olistostroma Taguasco	Campaniano temprano medio	Eoceno medio tardío
Conglomerado aluvio – marino	<i>M. nicholasi</i>	Fm. San Luis	Maastrichtiano	Eoceno
Conglomerado aluvio – marino	<i>P. ?sanchezi</i>	Fm. Lagunitas	Campaniano temprano medio	Mioceno temprano
Micro-conglomerado	<i>T. giganteous</i>	Eluvio y suelo	Maastrichtiano	Cuaternario

Anexo 8 Comportamiento de las especies de *Barrettia* según los submorfitopos.





**Anexo 9 Tabla de la altura y el diámetro de los Hipurítidos analizados. Ejemplo de las especies del género *Barrettia* en la región caribeña.**

***B.coatesi***

<b>Ejemplar</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Altura</b>	<b>R</b>	<b>Localidad</b>
J4556-10	53	172	3.2	Jamaica
J4560-1	54	145	2.7	Jamaica
J4561-1a	60	143	2.4	Jamaica
J4556-16-I	49	112	2.3	Jamaica
J4560-7a	56	128	2.3	Jamaica
J4556-13	64	142	2.2	Jamaica
J4561-10	47	101	2.1	Jamaica
J4560-14	43	89	2.1	Jamaica
J4561-8-II	34	70	2.1	Jamaica
J4560-13	61	113	1.9	Jamaica
J4556-8	58	102	1.8	Jamaica
J4597-5	47	82	1.7	Jamaica
J4556-4a	44	72	1.6	Jamaica
J4560-6	45	73	1.6	Jamaica
J4561-9	69	111	1.6	Jamaica
J4560-4	39	62	1.6	Jamaica
J4556-14	64	100	1.6	Jamaica
J4556-1	44	66	1.5	Jamaica
J4556-20	57	85	1.5	Jamaica
J4561-2	70	101	1.4	Jamaica
J4560-3b	49	70	1.4	Jamaica
J4556-2	57	79	1.4	Jamaica
J4560-12	65	90	1.4	Jamaica
J4556-7	70	96	1.4	Jamaica
J4560-8	79	107	1.4	Jamaica
J4579-2	85	111	1.3	Jamaica
J4561-5	71	89	1.3	Jamaica
J4581-2	58	72	1.2	Jamaica
J4556-17-II	46	53	1.2	Jamaica
J4556-18	45	49	1.1	Jamaica
J4560-19	42	44	1.0	Jamaica
J4556-23	45	45	1.0	Jamaica
J4560-16	57	57	1.0	Jamaica
J4597-2	41	41	1.0	Jamaica
J4560-18	62	61	1.0	Jamaica
J4560-10	55	49	0.9	Jamaica
J4556-21	63	54	0.9	Jamaica
J4581-1	70	52	0.7	Jamaica
J4556-22	52	33	0.6	Jamaica
Promedio	56	85	1.55	

***B. multilirata***

<b>Ejemplar</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Altura</b>	<b>R</b>	<b>Localidad</b>
MNHN-P607	115	320	2.8	Cuba
IGM-2143	95	170	1.8	Chiapas, México
J4043-14	235	380	1.6	Jamaica
MNHN-P505	250	340	1.4	Cuba
J4043-16	195	255	1.3	Jamaica
J4043-5	190	245	1.3	Jamaica
MNHN-P588	250	300	1.2	Cuba
IGM-2142	110	125	1.1	Chiapas, México
MNHN-P529	140	140	1.0	Cuba
IGM-2146	100	100	1.0	Chiapas, México
MNHN-P765	185	170	0.9	Cuba
IGM-2144	110	72	0.7	Chiapas, México
MNHN-P464	240	150	0.6	Cuba
holotipo	165	55	0.3	Jamaica
Promedio	170	202	1.22	

***B. gigas***

<b>Ejemplar</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Altura</b>	<b>R</b>	<b>Localidad</b>
J3390	255	460	1.8	Puerto Rico
IGM (2)	125	120	1.0	Chiapas, México
IGM-2147-(10)	195	175	0.9	Chiapas, México
IGM (28)	225	200	0.9	Chiapas, México
IGM-2149-(50)	160	140	0.9	Chiapas, México
IGM-2149-(40)	200	160	0.8	Chiapas, México
J3984	142	110	0.8	Jamaica
J3417	230	170	0.7	Jamaica
IGM-2148-(-)	300	150	0.5	Chiapas, México
MNHN-P412	180	90	0.5	Cuba
IGM-2149-(29)	310	100	0.3	Chiapas, México
Promedio	211	170	0.82	

***B. monilifera***

Ejemplar	Diámetro	Altura	R	Localidad
J3348-2 <sup>a</sup>	141	455	3.2	Puerto Rico
MNHN-P629	110	280	2.5	Cuba
IGM-2154-(35)	140	340	2.4	Chiapas, México
J3349-3	87	210	2.4	Puerto Rico
J3348-1 <sup>a</sup>	136	320	2.4	Puerto Rico
IGM-2150-(16)	97	200	2.1	Chiapas, México
IGM-2156-(4)	95	195	2.1	Chiapas, México
IGM-2156-(3)	100	200	2.0	Chiapas, México
IGM-2150-(18)	130	250	1.9	Chiapas, México
IGM-2151-(12)	95	180	1.9	Chiapas, México
IGM-2150-(26)	200	370	1.9	Chiapas, México
J3349-4	106	195	1.8	Puerto Rico
MNHN-P526	95	170	1.8	Cuba
IGM-2151-(7)	90	160	1.8	Chiapas, México
J3346-2	115	200	1.7	Puerto Rico
IGM-2155-(55)	125	210	1.7	Chiapas
J5076-1	73	120	1.6	Jamaica
IGM-2151-(14)	80	130	1.6	Chiapas, México
MNHN-P415	110	175	1.6	Cuba
MNHN-P415	110	175	1.6	Cuba
J3346-4	80	120	1.5	Puerto Rico
MNHN-P610	125	185	1.5	Cuba
IGM-2153-(29)	130	180	1.4	Chiapas, México
IGM-2156-(6)	100	120	1.2	Chiapas, México
MNHN-P139	110	120	1.1	Cuba
IGM-2155-(60)	70	75	1.1	Chiapas, México
MNHN-507	140	150	1.1	Cuba
IGM-2156-(5)	95	100	1.1	Chiapas, México
IGM-2156-(2)	115	120	1.0	Chiapas, México
IGM-2150-(24)	100	100	1.0	Chiapas, México
IGM-2157-(1)	105	105	1.0	Chiapas, México
J5076-2	107	105	1.0	Jamaica
IGM-2150-(27)	130	127	1.0	Chiapas, México
J3349-1	103	100	1.0	Puerto Rico
IGM-2153-(30)	105	100	1.0	Chiapas, México
IGM-2151-(9)	85	80	0.9	Chiapas, México
IGM-2152-(62)	120	110	0.9	Chiapas, México
IGM-2150-(15)	115	105	0.9	Chiapas, México
IGM-2155-(61)	55	50	0.9	Chiapas, México
IGM-2151-(8)	105	90	0.9	Chiapas, México
IGM-2151-(10)	90	70	0.8	Chiapas, México
IGM-2151-(11)	110	85	0.8	Chiapas, México
J3346-1	99	75	0.8	Puerto Rico
J3349-2	88	65	0.7	Puerto Rico
J4012-2	111	65	0.6	Clift, Jamaica
V.H870	240	140	0.6	P.Río, Cuba
J3990-2	104	54	0.5	Clift, Jamaica
V.H802	200	90	0.5	P.Río, Cuba
J4009-2	151	58	0.4	Clift, Jamaica
Promedio	112	124	1.13	



## LA DATACION DE LOS DEPOSITOS CUATERNARIOS EN CUBA.

**Leandro L. Peñalver (1), Miguel Cabrera (1), José Pérez Lazo (2), Manuel Fundora (3), Ida Pedroso (3).**

- 1) *Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca 1002 y Prolongación de carretera Central, San Miguel del Padrón, CP. 11000, Cuba.*
- 2) *Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, Calle 124 s/n, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba.*
- 3) *Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 esq. a Ave 29, La Lisa, Ciudad de la Habana, Cuba. CP 11600.*

### RESUMEN

Se revisaron los diferentes métodos utilizados en el estudio del Cuaternario en Cuba, tanto de datación relativa como absoluta, poniéndose de manifiesto la gran importancia que para el país han tenido los métodos de datación relativa y en primera instancia, el empleo combinado de los métodos litólogo-geomorfológicos. Se presenta el primer esquema de división estratigráfica para el Cuaternario, elaborado por I. P. Kartashov et al. (1981) y en el mismo, simultáneamente, se incluyen las nuevas formaciones geológicas que se han reconocido para el Cuaternario en todo el archipiélago, a partir de 1981. Se mantienen innominados los depósitos holocénicos. Los datos de edades absolutas reportan para las turbas en la Ciénaga de Zapata desde 7000 hasta 10700 años y 2100 años en Laguna Santa María. Para las rocas de Jaimanitas se determinó 82000 años y para la transgresión más joven del Pleistoceno superior, entre 26000 y 34600 años. Se presenta la primera columna magneto-estratigráfica elaborada para el Cuaternario en Cuba, la cual permitió calibrar el esquema de división antes señalado. Finalmente se indican los métodos de datación relativa y absoluta en que se debe trabajar en un futuro. Entre los primeros se incluye continuar el estudio de los vertebrados, moluscos, la microfauna de foraminíferos y los ostrácodos, junto con el estudio palinológico de los sedimentos. Entre los segundos se subrayan la termoluminiscencia, el análisis isotópico del oxígeno y la continuación de las investigaciones paleomagnéticas, sobre todo después de haberse aumentado, con varias unidades litoestratigráficas, el primer esquema confeccionado.

### ABSTRACT

Both, relative and absolute dating methods, used in the study of Quaternary deposits in Cuba has been subject to revision. Of great importance for the country has been the use of relative dating methods, mainly combination of lithologic-geomorphologic methods.

First made by I.P. Kartashov schematic division for Quaternary deposits of Cuba is showed. In it, simultaneously, starting from 1981, new recognized Quaternary geological formations are included.

Data about absolute dates obtained in Cuba are presented. The absolute age data reports 7000 to 10700 years for the Cienaga de Zapata turfs, and 2100 years for Laguna Santa Maria in Pinar del Rio province. For Jaimanitas rocks it was determined 82000 years and for the younger transgression of Upper Pleistocene is 26000 and 34600 years. First magneto-stratigraphic column worked out for Quaternary is stand out. Using the previous, calibration of the already pointed out schematic division was allowed.

Finally, relative and absolute dating methods in which must be developed work in the future are indicated.

Among the first ones, continuation the study of vertebrates, molluscs, foraminifera, and ostracoda together with the study of palinology of sediments is recommended. Among the second ones termoluminescence, oxygen isotopic analysis, and continuation of paleomagnetic researches above all, after the increase of first Schema with several lithostratigraphic units.



## INTRODUCCION

Durante la década de 1970, período en el cual comenzaron las investigaciones sistemáticas sobre el Cuaternario en Cuba, no existía ningún tipo de esquema de división estratigráfica para ser utilizado en los estudios sobre el Cuaternario, incluyendo las zonas en las que se conocían la existencia de espesores significativos de rocas de ese periodo, ubicadas geográficamente en algunas de las seis provincias en que se dividía el país y a las que se estaba confeccionando su mapa geológico a la escala 1: 250 000.

Esta carencia de esquema obedecía a que en Cuba no existía prácticamente ninguna base bioestratigráfica de división del Cuaternario y los métodos de cronología absoluta apenas se conocían. Para lograr superar esta situación, por lo impostergable que resultaba, se realizaron investigaciones temáticas ininterrumpidas, que concluyeron con la preparación del primer esquema de división genética y estratigráfica del Cuaternario en Cuba, elaborado por Kartashov *et al* (1981). Este esquema se pudo preparar gracias al empleo de métodos de datación relativa.

## MATERIALES Y METODOS

Para la preparación del presente trabajo se partió de la base de la confección del esquema antes señalado, donde se utilizaron todos los datos previamente existentes, los que realmente eran muy pocos, si se tiene en cuenta que eran escasas las formaciones reconocidas y estudiadas antes de 1980. No obstante, algunos reportes de microfauna de foraminíferos y de ostrácodos, permitieron datar las rocas de la Formación Vedado como Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior. Esta unidad, como se conoce, ocupa la base del corte estratigráfico del Cuaternario, y uno de sus equivalentes en edad, la Formación Bayamo, también se pudo datar con una edad semejante a la anterior, gracias al hallazgo de fauna de foraminíferos. Sobre la base de intercalaciones reportadas entre los depósitos de la Formación Guane y los de la Formación Vedado, se pudo establecer una edad sincrónica para ambas unidades. Estas intercalaciones se localizan en pozos en el borde norte de la llanura cársica meridional de la Isla de la Juventud y en el extremo occidental de la provincia de Pinar del Río.

Sin embargo, el hecho más significativo en la confección de ese esquema, resultó ser el empleo de todos los métodos de datación relativa posibles y en este caso, muy eficaz fue el uso combinado de criterios litólogo-geomorfológicos, habida cuenta que muchas de las formaciones pleistocénicas tienen carácter terrígeno, es decir, son depósitos friables. Precisamente, el empleo de tales criterios, litólogo-geomorfológicos, permitió precisar diferentes secuencias (formaciones), su génesis y la sucesión de su formación. Los indicios de diagnóstico de estas secuencias, es decir, sus particularidades litológicas (color, grado de intemperización, etc), su posición en el corte y su posición en el relieve, permitieron hacer una diferenciación bastante segura entre las diferentes formaciones que fueron reconocidas.



División Cronoestratigráfica		Subdivisión Litoestratigráfica	
Holoceno		Q <sub>2</sub>	Depósitos Marinos <b>Formación Los Pinos</b> Depósitos Aluviales Depósitos Palustres Depósitos Biogénicos
P L E I S T O C E N O	Seco	Q <sub>1</sub> <sup>3</sup>	<b>Formación Cocodrilo</b> Formación Playa El Salado <b>Formación La Cabaña</b> <b>Formación Guillermo</b> Formación Playa Santa Fe Formación Sigüanea Formación Camacho <b>Formación Cauto</b> Formación Jamaica <b>Formación Romano</b> Formación Jaimanitas
	Húmedo	Q <sub>1</sub> <sup>2</sup>	<b>Formación Guanabo</b> Formación Villarroja
		Q <sub>1</sub> <sup>1</sup>	Formación Guevara
P L I O C E N O	S U P E R I O R	N <sub>2</sub>	<b>Formación Alegrías</b> Formación Guane Formación Dátil Formación Bayamo <b>Formación Río Maya</b> Formación Vedado

Figura 1. Esquema de división elaborado y sus cambios actuales.

En la figura 1 se muestra el esquema de subdivisión elaborado por Kartashov *et al* (1981), y en el mismo, aparecen en cursivas las nuevas unidades que se han reconocido e incluido en él hasta el presente, significando que se trata solamente de unidades que se han cartografiado en los diferentes mapas que se han elaborado a las escalas 1: 250 000, 1: 100 000 y otras más detalladas. Estas nuevas unidades han sido también reconocidas y ubicadas sobre la base de criterios de datación relativa.

Como puede apreciarse, de las cuatro unidades que se proponían para la base del corte Cuaternario, en la actualidad se reconocen seis, todas con la edad Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior. Las nuevas formaciones son Alegrías y Río Maya. Para el Pleistoceno Medio se reconoce como nueva la Formación Guanabo. El Pleistoceno Superior es quien presenta más unidades incorporadas en los últimos tiempos. Se trata de las formaciones Romano, Cauto, Guillermo, La Cabaña y Cocodrilo. La Formación Los Pinos, de edad holocénica, se aceptó excepcionalmente por diversas razones, entre las que se puede señalar que es una unidad muy monótona, con pocos





cambios faciales y, además, que tiene una gran extensión en el Archipiélago Sabana-Camagüey.

### **Algunos resultados de edad absoluta obtenidos en Cuba.**

Al cuadro anteriormente señalado, que se estableció sobre la base del empleo de métodos de datación relativa de los depósitos Cuaternarios en Cuba sobre bases nuevamente relativas, pero con un fuerte fundamento teórico y práctico, se pueden introducir algunos resultados de determinaciones de edad absoluta.

Así, la Compañía holandesa NEDECO realizó estudios en la Ciénaga de Zapata entre 1959 y 1960. En dichos estudios se dataron las turbas de esa región, obteniéndose la edad máxima de 10700 años. Estos datos confirman la pertenencia de estos depósitos del Holoceno. Más recientemente, una datación realizada en García et al (2002) a depósitos de mangle en la Laguna Santa María, próximo a San Luis, Pinar del Río, reportó 2100 años de antigüedad. Este resultado fue obtenido en el Laboratorio VERA de Austria en el propio año 2002.

Por otra parte, la Formación Jaimanitas y todas las rocas con ella vinculadas, han sido las más estudiadas. Específicamente en la Formación Jaimanitas, sobre la base de determinaciones absolutas por el método  $\text{Io}/\text{U}^{234}$ , su edad puede ser fijada en  $82000 \pm 6000$  años (Czerdnicew, 1969, fide Shantzer et al, 1976).

Sin embargo debe tenerse cuidado ya que en calizas semejantes a las de Jaimanitas en la isla de Orchila, Venezuela, dos muestras colectadas, determinadas por la relación  $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ , reportaron idéntico resultado de 131 000 años (Shubert y Valastro, 1976).

Algunos autores, en estudios realizados en la antigua provincia de Oriente y en la zona de Mariel, han determinado, mediante el empleo de la técnica de Carbono 14, una edad entre 26 000 y 34 600 años para la transgresión más joven que deposita rocas carbonatadas. Esta transgresión, según Kind y otros, 1972, fide Shantzer et al, 1976, puede corresponder con el Wisconsin Medio de la Clasificación Norteamericana de Glaciaciones e Interglaciaciones y donde, en principio, se ubican las formaciones Cocodrilo, Playa El Salado, La Cabaña, Guillermo, Playa Santa Fe y posiblemente Sigüanea.

En un futuro, deben continuarse estas investigaciones e incluir también las relacionadas con la técnica de la Termoluminiscencia.

### **La escala paleomagnética del Cuaternario en Cuba.**

En 1986, Pérez Lazo y Fundora, con la colaboración de Peñalver, confeccionaron la primera escala magnetoestratigráfica para el Cuaternario en Cuba, que de cierta manera sirvió para calibrar el esquema que había sido propuesto por I.P.Kartashov y sus colaboradores (1981). Para la confección de esta escala se muestrearon varias formaciones de las reconocidas para el Cuaternario, la mayoría de las cuales brindaron datos de interés.

De esta manera, se obtuvo información de las unidades litoestratigráficas Vedado, Río Maya, Guane, Dátil, Guevara, Villarroja, Jaimanitas, Cauto, Camacho, así como de los depósitos aluviales holocénicos. Los mejores resultados se brindan en la Tabla I, los que corroboran la veracidad del esquema propuesto.



Tabla I. Algunos resultados de los trabajos paleomagnéticos realizados en Cuba.

<b>Formación</b>	<b>Afloramiento</b>	<b>Edad (en miles de años)</b>
Depósitos aluviales	Costa sur (Sierra Maestra)	< 10
Depósitos aluviales	Costa sur (Sierra Maestra)	< 10
Cauto	Las Palmitas, Río Cauto.	11.0-40.0
Jaimanitas	Terraza Seboruco-Maisí	105.0-120.0
Jaimanitas	Terraza alta Jaimanitas, Maisí.	180.0-200.0
Guevara	Aguada de Pasajeros.	< 700.0
Río Maya	Segunda terraza de Maisí.	800.0-900.0
Río Maya	Tercera terraza de Maisí.	1000.0-2100.0
Río Maya	Cañón de Río Maya-Maisí.	>2500.0
Río Maya	Parte alta de 5ta terraza Maisí.	2600.0-3000.0
Río Maya	Cuarta terraza de Maisí.	> 3360.0
Río Maya	Base de la 5ta terraza, Maisí.	> 4000.0
Vedado	Cienfuegos.	2500.0-2650.0

Sobre la base de todas estas informaciones se elaboró la Figura 2, que muestra la escala paleomagnética confeccionada para Cuba y su comparación con la internacional de Cox y con la elaborada para Europa Central. En la misma se pueden observar las épocas Brunhes, Matuyama y Gauss, así como los eventos Hashamp, Blake, Jamaica, Jaramillo, Guilsa y Olduvai, que se pudieron reconstruir en algunas de las formaciones cuaternarias cubanas.

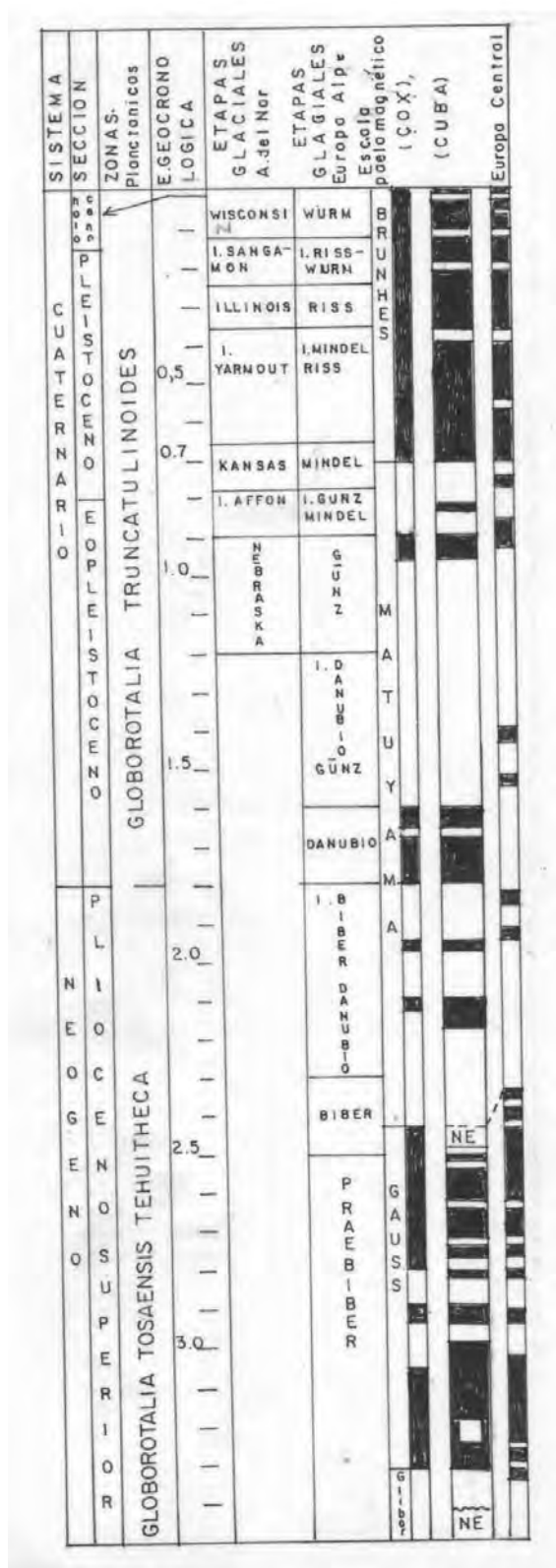


Figura 2. Columna paleomagnética elaborada para Cuba



## **Líneas de investigación principales a desarrollar en el futuro.**

Como líneas principales de investigación a acometer en un futuro se pueden sugerir el empleo del método de termoluminiscencia, el análisis isotópico del oxígeno y la continuación de las investigaciones paleomagnéticas. Sin embargo, teniendo en cuenta que en un futuro debe contarse con algún esquema bioestratigráfico de división del Cuaternario en Cuba, y en este sentido los métodos de datación relativa continuaran jugando su rol, debe proseguirse el estudio de la microfauna, en especial de los foraminíferos cuyos pasos iniciales se dieron, fundamentalmente, a partir de 1970.

Un importante papel también juegan los ostrácodos, cuyo estudio fue iniciado con los trabajos de Van Den Bold y continuado con los de Sánchez Arango.

Múltiples descubrimientos de restos de vertebrados podrán, por lo visto, ser utilizados en calidad de material complementario al futuro esquema que se elabore. El estudio de los moluscos es otra importante línea, que fue iniciada con los trabajos de Petrov y de la Torre. Este estudio debe permitir, en definitiva, separar los complejos de distinta edad, cuyas diferencias relacionadas tanto con la variación por la evolución como por la ecología se podrán aprovechar con fines estratigráficos.

Finalmente, el método polen-espora de división bioestratigráfica del Cuaternario, utilizado ampliamente en los países de latitudes medias y altas, ha dado pocos pasos en Cuba y resulta de interés poderlo aplicar, independientemente de que la cuestión de su efectividad provoque serias dudas, debido a las condiciones extremadamente desfavorables de conservación del polen en los sedimentos retrabajados por el intemperismo tropical y a que aun en Cuba se conoce muy poco acerca del carácter de las oscilaciones climáticas del Cuaternario y se mantiene en incógnita la cuestión sobre hasta que punto estas oscilaciones se reflejaban en el cambio de vegetación.

## **CONCLUSIONES**

1-Se demuestra el alto valor de los métodos de datación relativa en los estudios del Cuaternario en Cuba.

2-Se comprobó el valor de los resultados del método paleomagnético, el que sirvió para corroborar la eficacia del esquema propuesto, basado en criterios de datación relativa.

3-Deben continuar realizándose investigaciones en métodos de datación absoluta tales como: isótopos de oxígeno, carbono 14, termoluminiscencia y paleomagnetismo, que permitan calibrar aun más el esquema de división propuesto por Kartashov y sus colaboradores (1981).

## **BIBLIOGRAFIA:**

- García D, R. Delgado, Y. Rojas, L.L. Peñalver, M. Cabrera, R. Denis, G. Millán, C. Díaz, G. Furrázola., (2002). Generalización geológica de la provincia de Pinar del Río a escala 1: 100 000. Inédito. Archivo del Inst. Geol. y Paleont. La Habana.
- Kartashov, I.P., A.G. Cherniajoski, L.L. Peñalver., (1981). El Cuaternario en Cuba (en ruso). Editorial Nayka, Vol. 356, 145 p. Moscú.
- Peñalver, L.L., M. Cabrera, H. Trujillo, J. Pérez Lazo, M. Fundora, L. Molerio, H. Morales, M. Guerra, I. Pedroso, (2001). Cambios climáticos en Cuba durante el Cuaternario sobre bases geológicas. Informe final. Inédito. Archivo del Inst. Geol y Paleont. La Habana.
- Pérez Lazo, J., (1986). Escala paleomagnética del Plioceno-Cuaternario para Cuba. Tesis



- Doctoral. ISPJAE. Ciudad de La Habana. Cuba.
- Shantzer E.B, O.M. Petrov, G.L. Franco., (1976). Sobre las terrazas marinas costeras de Cuba y los sedimentos con ellas relacionadas (en ruso), Revista Acumulación de sedimentos Cuaternarios y formación del relieve en Cuba. p.34-80. A.C. de la URSS. Moscú.
- Schubert C, S. Valastro., (1976): Quaternary geology of La Orchila Island, central Venezuelan offshore, Caribbean Sea. Bull. Geol. Soc. Amer. Vol. 87, p. 1131-1142.



## **EVOLUCION SEDIMENTARIA DEL LA SUCESION DE CARBONIFERO INFERIOR DE LA REGION DE TAR (ALBORZ CENTRAL-NORTE IRAN)**

Kaveh Khaksar

SCWMRI. 13445-1136 Tehran, I. R. Iran, E-mail: [khaksar\\_k@hotmail.com](mailto:khaksar_k@hotmail.com)

El perfil de Tar está situado en la parte sur de Alborz Central. Sobre las calizas, pizarras y arenas negras del Cámbrico terminal hay 185 m de calizas.

Del perfil analizado, y a partir de los datos sedimentológicos, tafonómicos y de composición de las asociaciones de fósiles, puede extraerse un modelo sedimentario, caracterizado por tres medios de depósito: plataforma abierta, barrera oolítica y lagoon. En la plataforma abierta los sedimentos predominantes fueron calizas bioclásticas (packstones y wackestones) alternantes con pizarras. La proporción de sedimentos pelíticos disminuye hacia posiciones más proximales. En la barrera oolítica dominaron los grainstones oolíticos y bioclasticos. En el lagoon se mezclan calizas micríticas con moldes de evaporitas y graistones bioclásticos y oolíticos, correspondientes a los bajíos.

La biocronoestratigrafía del Carbonífero inferior del perfil de Tar se basa esencialmente en las asociaciones de braquiópodos y de foraminíferos bentónicos. En función de estos grupos, se asignan los materiales del perfil estudiado al Tournaisiense y al Viseense.





## MODELOS SEDIMENTARIOS DE LAS ROCAS MADRES GENERADORAS DE LA FAMILIA III DE PETROLEO.

**Silvia Blanco Bustamente<sup>(1)</sup>, Rafael Segura Soto<sup>(2)</sup> y Olga Pascual Fernández<sup>(3)</sup>**

(1) (2) (3) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, Esquina a Churruca, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. Email: [sblanco@ceinpet.cupet.cu](mailto:sblanco@ceinpet.cupet.cu)

### RESUMEN

Se realiza un estudio interdisciplinario donde se integran los datos paleontológicos, sedimentológicos y geoquímicos de las rocas donde se obtuvieron extractos de petróleo de tipo III, lo que permitió reconstruir los ambientes de deposición de dichos depósitos.

Teniendo en cuenta el estudio sedimentológico – paleontológico se delimitan dos ambientes de deposición: 1. Referido a Secuencias Turbidíticas encontradas en el pozo Chacón 2 (N-1), correspondiente a la Fm. Polier y en el pozo Guásimas 41 (N-4) perteneciente a la Fm. Carmita. 2. Ambiente de Plataforma Carbonatada Restringida con aporte siliciclástico y/o plantas superiores que indican la influencia de tierras emergidas encontradas en el pozo Varadero 201 (N-1) de la Fm. Cifuentes (Somero) y en el pozo Litoral Pedraplén 21 (N-7) que constituye un paquete transicional de las formaciones Cifuentes y Constancia.

En las secuencias turbidíticas las variaciones faciales inciden en la potencialidad de las rocas madre, siendo las facies más distales las más favorables para la preservación del kerógeno, precursor de la materia orgánica (MO), donde predomina el componente carbonatado autóctono.

Las rocas de la Plataforma Carbonatada están sujetas al influjo continental sobre todo en determinadas épocas que aportaban material proveniente de tierras emergidas lo cual hace posible la generación de este tipo de petróleo en dichos depósitos.

El estudio multidisciplinario de estas rocas ayuda sin lugar a dudas a una mayor comprensión de la génesis y distribución de los depósitos generadores de hidrocarburos.

### ABSTRACT

An interdisciplinary study is done where are integrated the paleontological, sedimentological and geochemical data of rocks that gave extracts of type III, that became possible the reconstruction of deposition environments.

Considering the sedimentological-paleontological studies, are defined two sedimentary environments, with reference to: 1. Turbidite sequences belonging to well Chacon 2 (N.1) from Polier Formation, and in the well Guasimas 4 (N. 4) from Carmita Formation.

2. Restricted Carbonated Shelf, with siliciclastic and/or upper plants rest, which indicate the influence of emerged lands, found in the well Varadero 201 (N. 1) of Cifuentes Formation, and in the well Litoral Pedraplen 21 (N. 7) , that conforms a transitional package between Cifuentes and Constancia Formations. In the turbidite sequences the facial variations are related with the source rocks potential, being the more distal facies the most favourable for kerogen preservation, where predominates the autochthonous carbonate component.

Rocks belonging to carbonated shelf had suffered the continental influx, mainly in some epochs with materials from emerged lands, which made possible the generation of this oil type.

The multidisciplinary study of rocks assists to the major knowledge of genesis and distribution of hydrocarbons generator deposits.



## INTRODUCCIÓN

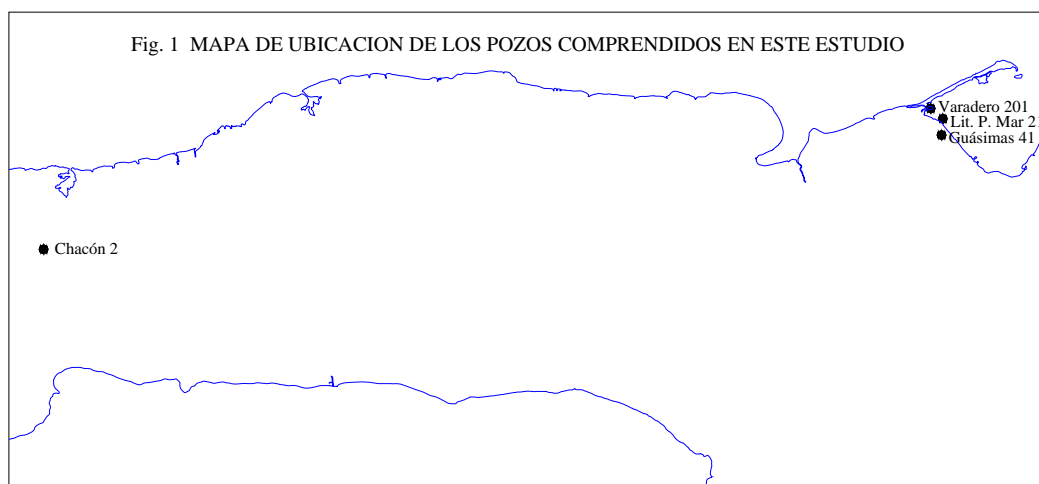
Actualmente resulta imprescindible abordar de manera interdisciplinaria el estudio de las rocas generadoras de petróleo en el registro sedimentario para una mejor comprensión de la génesis y distribución de los depósitos generadores de hidrocarburos. Se ha sugerido que mas del 85% de estos sedimentos fueron depositados bajos condiciones anóxicas o cuasi- anóxicas (G. J. Demaison, 1982 *in*: Savrda, C. E. *et al*, 1985). Considerando el significado económico de estos estratos anóxicos antiguos, se hace impostergable una mejor comprensión de las condiciones de deposición y la paleoecología de la cuenca donde fueron depositados.

De acuerdo a los extractos de petróleos obtenidos de rocas madres de algunas muestras de pozos y superficie se establecieron 3 Familias de petróleos, considerando el estudio de los biomarcadores por espectrometría de masa, realizados en el CENPES, Brasil.

En este trabajo se realiza una investigación multidisciplinaria donde se integran los datos paleontológicos, sedimentológicos y geoquímicos de las rocas donde se obtuvieron extractos tipo III de petróleos, que permitió hacer una reconstrucción de los ambientes de deposición de estas rocas.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Se realiza un estudio sedimentológico - paleontológico detallado de 4 núcleos de pozos en los cuales se obtuvieron extractos de petróleo de tipo III. Ellos son: El N.1 (1384-89 m) del pozo Chacón 2, correspondiente a la Fm. Polier, ubicado en la región septentrional de la Unidad Tectono-Estratigráfica (U.T.E.) Sierra del Rosario, Provincia de Pinar del Río. Litoral Pedraplén Mar 21, núcleo 7 (2393-95 m.), perteneciente al paquete transicional de las Fm. Cifuentes/Constancia, Varadero 201, núcleo1 (2600-04 m) de la Formación Cifuentes (Facies somera), Guásimas 41, núcleo 4 (1948-1952 m.) correspondiente a la Fm. Carmita. Estos últimos ubicados en las provincias de Habana- Matanzas y perteneciente a la U.T.E Placetas. (Ver fig. 1)





Teniendo en cuenta la composición y diversidad de la asociación faunal y el estudio sedimentológico de dichas muestras fue posible inferir las condiciones de deposición de estos sedimentos, los cuales fueron comparados con las características paleoambientales arrojados por los resultados de los biomarcadores. Ambas interpretaciones presentan marcadas coincidencias que nos permite suponer que dichos extractos fueron generados en dichas rocas.

Por último se confeccionaron los modelos de deposición para cada ambiente, representados en bloques diagramas.

Todo el material utilizado se encuentra en el Archivo Técnico del CEINPET.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I se muestran las características paleoambientales inferidos a partir de diferentes parámetros geoquímicos

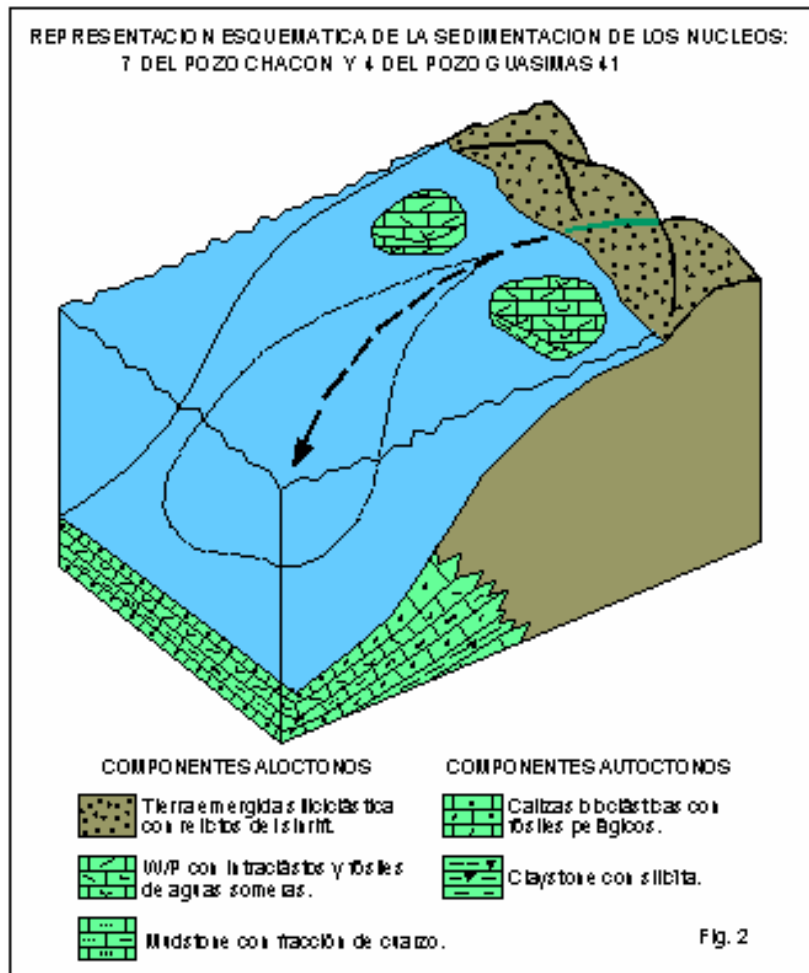
<b>Familia III</b>
Aporte de organismos eucariotes (valores > de Esteranos)
Predominio de aporte algal - terrígeno (predominio de C <sub>29</sub> Esteranos)
Aporte mas alto de terrígeno que algal
< aporte de algas de aguas dulces (< valores de TPP, < 0.20)
> aporte de algas marinas
< aporte de dinoflagelados (< valores Dinosteranos y 4 α metil Esterano)
aporte terrígeno ( <valores Tet/26 Tri ) Puede estar afectado por nivel de madurez
> aporte terrígeno ( valores > de C <sub>29</sub> Esterano)
Roca mas siliciclástica ( valores > Diasterano y C <sub>35</sub> /C <sub>34</sub> <1)
< aporte de roca carbonatadas ( Valores < de H <sub>35</sub> / H <sub>34</sub> ( 1-0.60), al igual que C <sub>29</sub> /C <sub>30</sub> (<1)
Ambiente subóxico y contenido de arcilla alto ( Valores > de Pris/Phy, > 2)
< salinidad ( < valores del Índice de Gammacerano, alrededor de 0.10)
> aporte de Chrysophyta (Coccolithophoriidae) ( > valores de C <sub>30</sub> Esterano)
Ambiente mas óxico (con respecto a las otras familias), con aporte siliciclastico ( > valores Diahopano/Hopano, 0.16-0.06)
Predominio de MO con aporte de plantas terrestres + Fitoplancton) y zona de mezcla ( Diagrama triangular de distribución de esteranos)
Aporte siliciclástico y madurez (Valores > de T <sub>g</sub> / Ts+Tm)

**Tabla I Características del paleoambiente que dieron origen a la familia III de petróleo de acuerdo a la interpretación de los biomarcadores.**

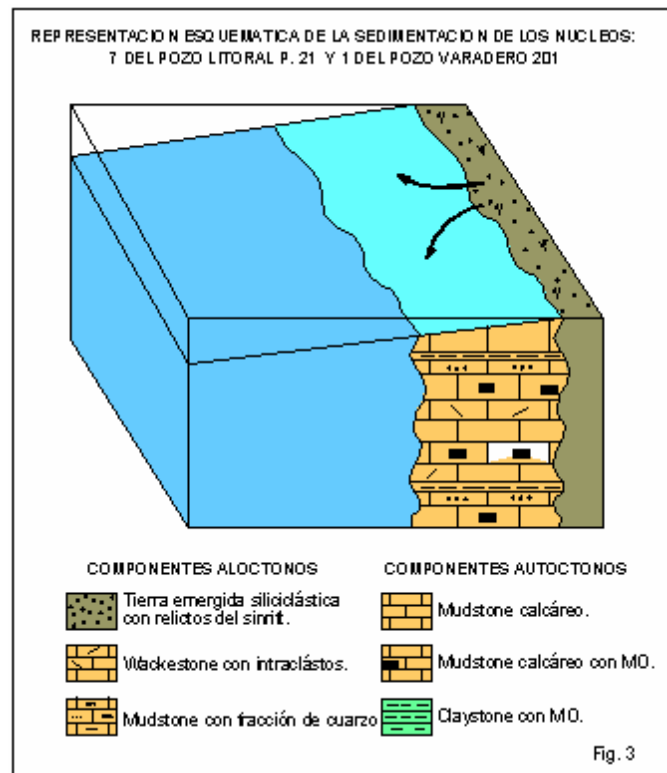
De acuerdo a este criterio, el petróleo de tipo III se generó en un ambiente marino pero con aporte siliciclástico significativo (valores mayores de Diasterano y el de la razón C<sub>35</sub>/ C<sub>34</sub> con respecto a las restantes familias, C<sub>29</sub> > C<sub>27</sub>), la materia orgánica presenta aporte de plantas terrestres + fitoplancton y un ambiente más óxico que las otras familias (valores > de 2 de la razón Pristano/Phytano).



Atendiendo a este estudio se delimitaron 2 ambientes fundamentales de deposición: 1-Referido a secuencias turbidíticas encontradas en la Fm. Polier (Pozo Chacón 2, n. 7) y en la Fm. Carmita (Pozo Guasimas 41, n.4). Ver Fig. 2.



2-Correspondiente a una plataforma carbonatada restringida de aguas tranquilas o intermitentemente agitadas y con aporte siliciclástico y/o de plantas superiores que indican la influencia de tierras emergidas. Fm Cifuentes (Facies someras): Pozo Varadero 201, n. 1 y paquete transicional Fm Cifuentes-Constancia (Litoral Pedraplén 21, n. 7) Fig. 3.



En el primero, ambos núcleos se depositaron en un ambiente marino de aguas profundas con procesos turbidíticos distales expresados por el reporte de packstone/wackestone de intraclastos, peloides y con fósiles de aguas someras (i.e. algas, foraminíferos bentónicos pequeños, moluscos), acompañada por una fracción limosa-arenosa fundamentalmente de cuarzo, aunque en las rocas de la Fm Carmita se observa con carácter accesorio muy subordinado plagioclasa y mica.

Estas rocas se encuentran intercaladas con wackestone bioclástico, mudstone calcáreo con abundante MO mas pirita y claystone calcáreo igualmente enriquecido por MO. En estas ultimas la asociación faunal esta constituida solo por fauna pelágica, fundamentalmente por **Nannoconus**, radiolarios, foraminíferos planctónicos que atestiguan la naturaleza profunda de estos sedimentos. Los **Nannoconus** frecuentemente son muy abundantes constituyendo las conocidas "nannoconitas".

Una comparación evaluativa con los caracteres paleoambientales brindados por los biomarcadores presentan amplias coincidencias por ser una secuencia carbonatada pero por con procesos turbidíticos, predominio de organismos eucariotes. Otro criterio aportado por los parámetros geoquímicos es la condición subóxica del ambiente, aunque se observa que las calizas autóctonas de la deposición, es decir, wackestone y mudstone calcáreo muestran condiciones anóxicas de fondo, dadas por la ausencia de fauna bentónica, la preservación de la estratificación y la abundancia de pirita autógena, esto no es una contradicción ya que se ha señalado por diversos autores que las corrientes turbidíticas pueden oxigenar temporalmente áreas con condiciones anóxicas de fondo con la introducción de "nuevas aguas" (Hulseman et Emery, 1961; Emery *et al*, 1962; Sholkovitz, 1975) . Se observa una relación directa entre la razón Prystano/Phytano y el mayor aporte terrígeno de una secuencia, por lo que esto parece



ser la razón de que estas secuencias presenten altos valores de Prys/Phy, es decir un carácter mas óxico que las familias restantes.

Un aspecto remarcable en la interpretación paleoambiental de acuerdo a los parámetros geoquímicos es el aporte de algas **Chrysophyceae (Coccolithophidae)** que son típicos de mares abiertos. Debemos aclarar, que aunque en estos depósitos se han reportado varios ejemplares de esta familia pero no se han hecho análisis especiales para su estudio, pero por el ambiente de deposición es probable que éstas existan, al menos por intervalos.

Ambas secuencias presentan variaciones faciales en dependencia de la cercanía de la fuente de aporte, el nivel del mar e inclusive a condiciones climáticas. Es por ello que tanto en la Fm. Polier como en la Fm. Carmita varía la proporción de carbonato en los distintos mantos. Así vemos como, en Placetas Central, aumentan las intercalaciones de siliciclásticos y rocas de aguas someras alóctonas en el manto superior, mientras que en el manto inferior son predominantes los carbonatos (S. Valladares et. al. 1997). Igualmente en la Fm. Polier se observa variable comportamiento de la distribución de los siliciclásticos en los diferentes mantos e inclusive dentro del mismo manto, ya que se observa hacia la parte superior del corte un predominio de carbonatos con aporte terrígeno subordinado, registrándose aquí valores de Carbono orgánico total (COT) mas alto y el reporte de kerógeno de tipo II (de origen marino) (S, Blanco et al. 2002, 2003). Es decir, en estas secuencias el enriquecimiento del carbonato depositado en condiciones anóxicas aumenta el potencial para la preservación del kerógeno precursor de la MO. Es por ello que la definición de la dirección del paleotransporte es importante ya que serian las facies más dístales las mejores como roca madre, como corresponde a los dos núcleos estudiados.

Las facies referidas a la plataforma restringida encontrada en el núcleo 1 del Varadero 201 y en el 7 del Litoral Pedraplén 21 se presenta a finales del Kimmeridgiano cuando ocurre un cambio en el régimen sedimentario en la UTE Placetas, desarrollándose una plataforma carbonatada restringida con un patrón de circulación de las aguas lentas, dando como resultado una salinidad anormal, carencia de nutrientes y disminución del oxígeno. La restricción en este caso no parece ser debida a ninguna barrera física ya que no se han reportado hasta el momento en esta edad desarrollo de organismos formadores de biohermos, así como tampoco barras de arena etc, mas bien, parece ser el producto de amplias extensiones de aguas someras que generaron estas restricciones. Estos depósitos se caracterizan por una fauna muy pobre o bien por una asociación de muy baja diversidad. Se reportan **Globochaete alpina**, **Didemnoidea moreti**, ostrácodos y "cadosinidos", escasos foraminíferos bentónicos pequeños y cuestionables restos de algas verdi-azules. En el núcleo 1 del Varadero 201 son significativos los restos de plantas superiores. Esto ultimo, junto con la fracción limosa de cuarzo observada en el Litoral Pedraplén Mar-21 evidencia el aporte continental.

Las condiciones anóxicas de estos depósitos se expresan en la preservación de la estratificación, preservación de MO + pirita y la virtual ausencia de fauna bentónica. Aquí no resulta tan claro los altos valores de la razón Prystano/Phytano (aunque menor que en el pozo Chacon 2), pero pudieran ser debido a la influencia del material terrígeno que se observa sobre todo en el Litoral Pedraplén Mar – 21, la causa del deterioro de las condiciones anóxicas.

En los depósitos de la facies someras de la Fm. Cifuentes se ha registrado además extractos de petróleo de la familia I, generado en ambientes mas carbonatados de mayor salinidad y condiciones anóxicas severas, lo cual no se encuentra en contradicción con la interpretación del paleoambiente. La generación del petróleo tipo III en estas rocas pueden estar originadas a





fluctuaciones estacionales en dependencia del clima y el input terrestre. Es sabido que en épocas lluviosas aumenta el influjo terrestre y probablemente a estos periodos lluviosos se relacionaría la generación de petróleo de tipo III.

En general en los 4 núcleos estudiados presentan varias semejanzas:

- Aporte siliciclástico y/o de plantas superiores provenientes de tierras emergidas.
- Predominio de calizas de textura muy fina (Mudstone-wackestone) con enriquecimiento de MO.
- Preservación de la estratificación condicionada por la ausencia de organismos macro-bentónicos y en general de la biota bentónica.

Todas estas características es la expresión de condiciones anóxicas de deposición que mejoran la potencialidad como roca generadora de hidrocarburos y presentan coincidencias con los resultados obtenidos por las parámetros geoquímicos por lo que permite suponer que dichos estratos fueron generados en estas rocas.

## CONCLUSIONES

1. Atendiendo al estudio sedimentológico – paleontológico de los cuatro núcleos comprendidos en este estudio, se delimitaron dos paleoambientes de deposición que dieron origen al petróleo de tipo III.
  - Secuencias turbidíticas.
  - Plataforma carbonatada restringida con aporte siliciclástico y de plantas superiores.
2. Las variaciones faciales de las secuencias turbidíticas inciden en la potencialidad de la roca madre. Tanto en la Fm. Carmita como en la Fm. Polier, las facies más carbonatadas serían las mejores rocas madres.
3. En la plataforma carbonatada restringida del Kimmeridgiano superior existen las condiciones de generación de petróleo tipo III dada la influencia del material silicicoclástico proveniente de tierras emergidas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Blanco, S. et. al., 2002. Reservorios de la provincia de Pinar del Río: UTE Sierra del Rosario. Informe Inédito, Archivo Técnico CEINPET, 300 p
- Blanco, S., Segura, R y Pascual, O., 2003. Condiciones de deposición del Barremiano en el sector septentrional de la UTE Sierra del Rosario y su interrelación con la Generación de HC. *Memorias del V Congreso Cubano de Geología y Minería*.
- Emery, K. O., J. Hülseman, 1962. The relationship of sediments, life and water in marine basin. *Deep Sea Research*, 8: 165-180
- Hülseman, J., K. O Emery, 1961. Stratification in recent sediments of Santa Barbara basin as controlled by organisms and water character. *Journal of Geology*, 69: 279-290.
- Sholkovitz, E. R., A. Soutar, 1975. Changes in the composition of the bottom water of the Santa Barbara basin: effect of turbidity currents. *Deep Sea Research*. 22:13-22.
- Valladares, S., et. al., 1997. Reservorio carbonatados pertenecientes a la UTE Placetas. Etapa 1 Proyecto 26/95. Informe Inédito, Archivo Técnico CEINPET, 750 p



## **LAS CALIZAS ALODAPICAS DEL AREA CATALINA EN LA CUENCA CENTRAL DE CUBA. SUS PROPIEDADES DE RESERVORIOS.**

**R. Segura-Soto<sup>1</sup>, S. Blanco-Bustamante<sup>2</sup> y S. Valladares-Amaro<sup>3</sup>**

1, 2, 3, Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington #169, esq. a Churruga, Cerro, C. de La Habana. Cuba. [E-mailsegura@ceinpet.inf.cu](mailto:E-mailsegura@ceinpet.inf.cu)

### **RESUMEN**

En la Cuenca Central de Cuba se localizan los depósitos de las calizas alodápicas en el área de los pozos Catalina, constituidas por turbiditas calcáreas impuras.

La secuencia pertenece al Maestrichtiano y forma parte de una cuenca a cuestras (piggy back) sobre los restos del arco volcánico Zaza.

Las calizas alodápicas están representadas por varias microfacies que pueden expresarse según la terminología textural de Dunham y en las granulometrías mayores según la terminología de Embry-Klovan.

Las propiedades de reservorio comprenden tres tipos de porosidad: primaria, en gran parte ocluida y secundarias: vugular y por fracturación, expresándose las fracturas en varias direcciones y constituyendo los mejores canales de comunicación. El reservorio en la actualidad no se explota, pero se indican sus posibilidades futuras.

### **ABSTRACT**

In Cuban central basin are located the alodapic limestones deposits in Catalina wells area, conformed by impure calcareous turbidites.

The sequence belongs to Maestrichtian and takes part in a "piggy back" basin, over the Zaza volcanic arc rests.

The alodapic limestones are represented by various microfacies that can be expressed by dunham textural terminology and by Embry-Klovan in the major granulometries.

The reservoir properties correspond to three porosity types: primary, very occluded, and secondaries: vuggy and fractured, with fractured, with fractures in various directions that constitute the best ways of communication.

In present times the reservoir is not exploited, but are indicated its future possibilities.

### **INTRODUCCIÓN**

Diferentes informes se refieren a la presencia de rocas de secuencias arrecifales o de las cercanías de los arrecifes en Cuba, que se relacionan con los yacimientos de petróleo. Pero las condiciones geológicas y paleogeográficas correspondientes no se investigaron con mayor trascendencia hasta su estudio en el Proyecto "Reservorios Carbonatados de Cuba" en 1996, por los propios autores de este trabajo, puntualizándose ahora las ideas y aportando algunos nuevos criterios.

La temática resulta de interés por la buena proporción mundial con que yacimientos de este tipo ocurren.



Se trata en nuestro caso de particularizar el yacimiento Catalina, sus procesos sedimentarios y aquellos que favorecieron la porosidad en una dimensión areal aproximada de 20 Km<sup>2</sup>, lo que justifica su consideración como reservorio.

## MATERIALES Y METODOS

Una serie de pozos fue perforada antes de 1959, por lo que sus datos se conservan escasamente. Pero los pozos Catalina 14 y 15, perforados en tiempos relativamente recientes, permiten establecer las secuencias con buena precisión tanto litológicamente como en sus eventos bioestratigráficos. Se realizó así el estudio petrográfico y micro paleontológico de los núcleos en cuestión, para obtener las conclusiones sedimentológicas esenciales, después de haberse calificado las facies características.

Por otra parte, fueron utilizados los registros geofísicos de los pozos Catalina 6, 8, 9, 14 y 15 para caracterizar las secuencias y muy principalmente los valores de porosidad, empleados en distintos informes y cálculos de reserva efectuados en el área. Los datos petrofísicos para evaluar las propiedades de reservorio solo aparecen en dos pozos de los enumerados, pero se incluyen necesariamente en nuestras investigaciones, muy principalmente la carbonatosidad, que complementariamente corrobora los litotipos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

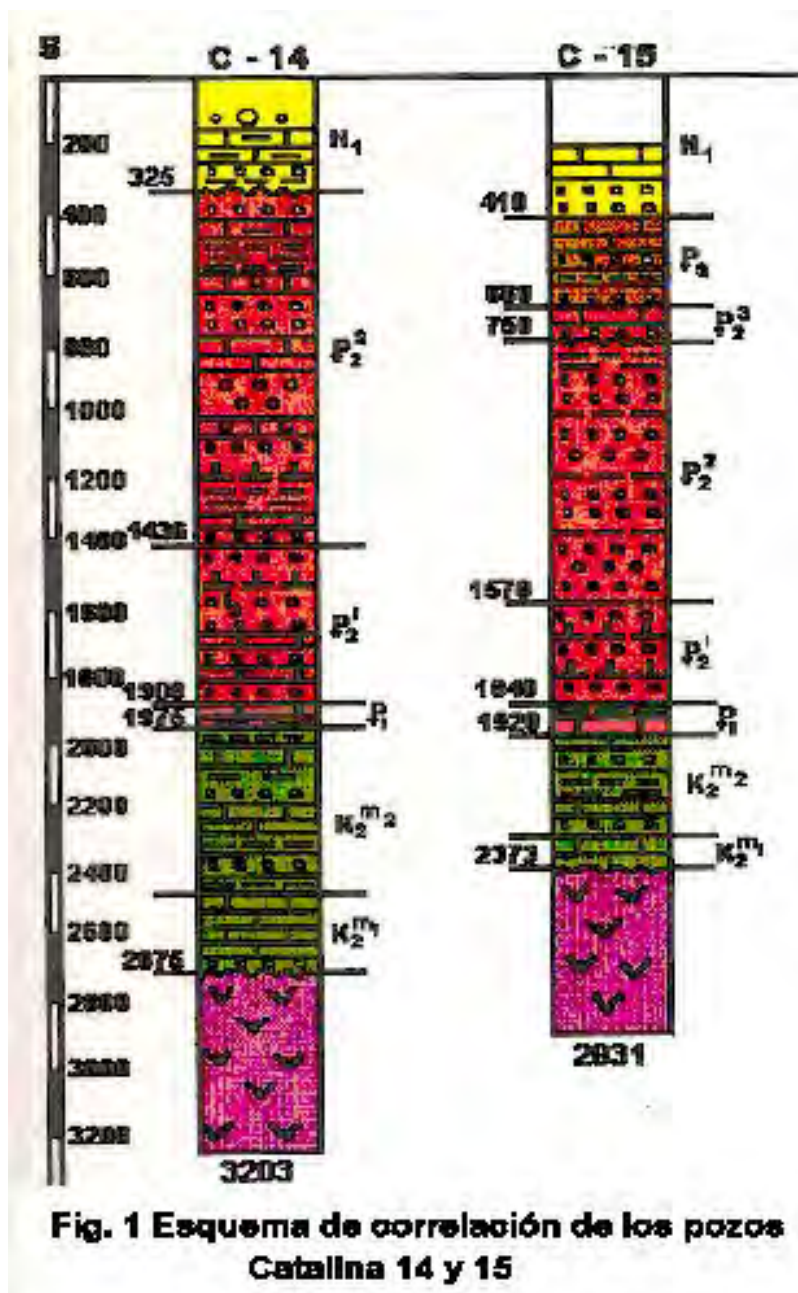
### Estratigrafía generalizada. (fig. 1)

La secuencia Catalina corresponde a la gran depresión conocida como Cuenca Central de Cuba. El campo Catalina se enmarca en la cuenca intraarco del arco volcánico Zaza, debiendo su origen al movimiento de la Placa Caribeña hacia el Margen Pasivo del Continente Norteamericano. El arco de islas se caracteriza por la presencia de vulcanismo subacuático de composición predominantemente andesítica, tanto de efusivos como de rocas volcánicas. De este modo, los sedimentos del Cretácico Superior yacen en una cuenca a cuestas (piggy back) sobre las vulcanitas y a su vez se recubren por las rocas del Sistema Paleógeno.

Los sedimentos del Campaniano Tardío corresponden aún a las rocas piroclásticas, con algunas intercalaciones de pelitas, a modo de complejo vulcanógeno sedimentario que también incluye conglomerados hacia el tope.

El contacto inferior es discordante sobre el arco volcánico, mientras que el contacto superior se cubre por los carbonatos del Maestrichtiano Inferior. Los sedimentos en cuestión contienen macroforaminíferos de los géneros ***Sulcoperculina***, ***Pseudorbitoides***, ***Vaughanina*** y ***Orbitoides***.

Los sedimentos del Maestrichtiano Inferior comprenden secuencias marinas de poca profundidad, con la formación de bioconstrucciones y otros tipos de carbonatos muy fosilíferos, con el complejo correspondiente a la biozona de ***Orbitoides media*** (S, Blanco et al 1993 in: Simon Petroleum Technology- CUPET, edit). Las calizas a veces se presentan formando dos cuerpos paralelos, uno superior en todos los pozos y otro inferior, menos frecuente, más arcilloso. El espesor del cuerpo superior, que es el motivo de nuestro trabajo, no sobrepasa los 100m. En el caso específico del área Catalina, se encuentran además fósiles pelágicos de ***Globotruncana arca***, ***G. linneana***, ***Globotruncanita stuarti*** y ***Rosita fornicata***. La mezcla de



fósiles de aguas someras y de aguas profundas constituye en su expresión litológica las denominadas calizas alodálicas, lo que explicaremos mas adelante.

Durante el Maestrichtiano Superior ocurrió una subsidencia relativa, originándose la deposición de rocas siliciclásticas de grano decreciente, hasta constituir arcilitas, cubriéndose las bioconstrucciones del Maestrichtiano Inferior. En las secuencias (sellantes sobre las bioconstrucciones) se encuentran especies de foraminíferos planctónicos referidos a la biozona de **Rosita contusa** (S. Blanco et al, 1993 in: Simon Petroleum Technology- CUPET, edit).



Los suprayacentes sedimentos del Sistema Paleógeno corresponden a secuencias carbonatado siliciclásticas, intrascendentes para el presente trabajo.

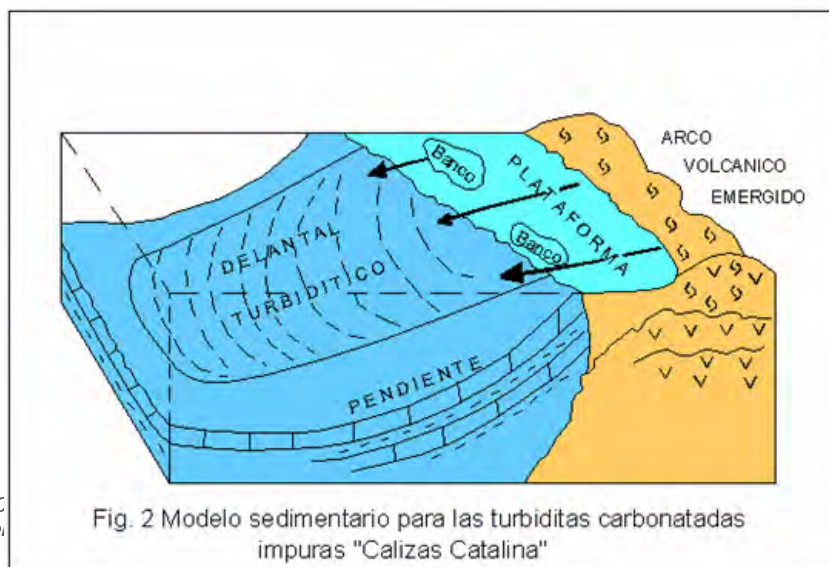
### Sedimentología y Análisis Ambiental

Las facies de talud o pendiente carbonatada constituyen a modo de transición entre la fábrica activa de carbonatos en aguas someras y la deposición lenta en las aguas profundas. Este ambiente representa períodos de elevada energía (gravitacionales) de resbalamiento por el talud, así como períodos de tranquilidad correspondientes a la deposición pelágica. De este modo, se presentan rocas caóticas, mal estratificadas, que se alternan con rocas finas y ordenadamente estratificadas. El conjunto constituye una deposición flyschoides. Además, concurren aquí también los productos erosivos del arco volcánico emergido, por lo cual las rocas vulcanógenas epiclásticas pueden encontrarse en un mismo estrato que los carbonatos.

Los arrecifes contemporáneos, en dirección hacia el mar, presentan frecuentemente un "delantal" (apron) de calizas bioclásticas de los metazoarios constructores (corales, moluscos). Esta acumulación se produce por las corrientes de turbulencia. Los depósitos proximales se conocen como flujos de detrito (debris flow), constituidos por brechas, que diagnostican bien la presencia del talud. Pero en nuestro caso predominan los depósitos distales: calizas fragmentarias de fracción fina (packstones, grainstones, wackestones). Estos depósitos se interpretan como los equivalentes carbonatados de las turbiditas siliciclásticas, o sea, turbiditas calcáreas. Estas rocas se han denominado calizas alodálicas y pueden exhibir todas las divisiones ABCDE de la secuencias de Bouma.

Los carbonatos pueden mezclarse con elementos siliciclásticos, pero no por ello constituyen los típicos abanicos de las turbiditas siliciclásticas, porque no se desarrollan los cañones submarinos de drenaje. En su lugar las bioconstrucciones actúan como fuente de aporte, que crea el cinturón de turbiditas calcáreas conocido como "delantal", cuya geometría es muy distinta a la del abanico. De acuerdo a lo antes dicho, nuestros depósitos pueden calificarse como turbiditas calcáreas impuras. En la fig. 2 se muestra el modelo sedimentológico.

Megascópicamente, en los núcleos se revela el carácter flyschoides, con capas de pocos cm. de espesor hasta algunas que sobrepasan 50 cm., las cuales contrastan por su color y composición.







En sección delgada se determinan las microfacies 1) Mudstones calcareos/Wackestones; que expresan deposición pelágica, a menudo con contenido arcilloso. La oritocenosis está constituida sólo por foraminíferos planctónicos, entre los que se destacan los géneros de **Globotruncanidae**, además del género **Globigerinelloides**. 2) Packstones/Rudstones, con bioclastos gruesos, que representan condiciones de energía moderada a elevada. La selección es pobre, con fragmentos subangulares a subredondeados. La asociación está dominada por macroforaminíferos, principalmente los géneros **Sulcoperculina** y **Orbitoides**. También se reporta **Pithonella**. Todo el complejo faunal es de plataforma externa, cuyos productos, entonces, fueron trasladados por corrientes de turbulencia. 3) Carbonatos con elementos siliciclásticos abundantes, tratándose generalmente de Packstones/Rudstones impuros, con fragmentos de andesitas, basaltos, granitoides, granos de plagioclasa, cuarzo, etc., o sea, se trata de elementos provenientes del arco volcánico erosionado.

Se concluye que las rocas anteriormente expresadas reflejan las secuencias de turbiditas calcáreas impuras, propias de talud o rampa.

### Caracterización del Reservorio

Fueron utilizados los registros geofísicos de los pozos Catalina 6, 8, 9, 11, 14 y 15, así como los valores de porosidad de distintos informes y cálculo de reserva del área. Los datos petrofísicos encontrados sólo para dos pozos, aunque insuficientes, fueron considerados en el trabajo.

Los carbonatos fragmentarios debieron presentar porosidad primaria interpartícula, la cual en algunos casos se ha conservado. Pero la recristalización causó el cierre de la mayoría de este espacio poroso. En cambio los gruesos mosaicos de la recristalización, por lixiviación, originaron, aunque reducidamente, la porosidad vugular (Cat. 15 n. 17 y 19, Cat. 14 n. 10). Los vúgulos en ocasiones están rellenos por petróleo denso. La porosidad más desarrollada se debe a la facturación y microfracturación (Cat. 14 n.10 y 11, Cat. 15 n.19), observándose dos generaciones de fracturas: 1) siguiendo los contactos entre fragmentos y matriz y 2) paralelas a las capas, que contienen petróleo; megascópicamente hay superficies de fricción (buenos canales de filtración).

Los valores determinados por registro son bajos, entre 5,4% a 12, 6%, con un valor promedio de 8,8%. A partir de estos valores se construyó un mapa en el que se observa que la porosidad disminuye en dirección suroeste, indicando la profundización de la cuenca hacia esa zona.

En cuanto a los datos petrofísicos, se trabajaron dos pozos con dos tipos litológicos: 1) carbonatos, con porosidad en Cat. 14 entre 5,37% y 7, 26 % y de 2,92% en Cat. 15 y en donde la carbonatosidad (81,5%) está en correspondencia. 2) carbonatos con intercalaciones siliciclásticas, con una porosidad en Cat. 14 de 4,33% y en Cat.15 de 5, 99%. Como vemos, las diferencias en porosidad no son notables para ambos tipos litológicos. Con estas propiedades las rocas estuvieron en producción durante varios años en las décadas de 1960 a 1970.

### CONCLUSIONES

- 1) El Maestrichtiano fue el período más propicio para el desarrollo de bioconstrucciones, por erosión de las cuales se originaron las turbiditas calcáreas.





- 2) Las turbiditas calcáreas en condiciones de talud, al intercalarse con los sedimentos pelágicos, constituyeron las calizas alodápicas típicas del área Catalina.
- 3) El estudio de las propiedades de reservorio asigna a las rocas en cuestión porosidad de fractura principal y vugular subordinada, aunque con valores bajos a medios. También se reporta producción de petróleo.
- 4) Áreas productoras, tales como Cristales, guardan relación geológica con Catalina, por lo cual ésta no debe abandonarse sino proseguir su estudio en la medida de las posibilidades.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Longman, M.W., 1981. A Process Approach to recognizing Facies Complexes. Soc. Econ. Paleontol. Mine. Sp. Pub. 30: 9-40.
- Reading, H. G., 1978. Sedimentary Environments and Facies. New York. Elsevier Press: 557p.
- Simon Petroleum Technology- Cupet., 1993. The Geology and Hydrocarbon Potential of the Republic of Cuba. Proprietary Report. Llanduno. U.K.
- Valladares, S., et. al., 1996 Reservorios Carbonatados de Cuba. Informe inédito. Archivo Técnico CEINPET
- Wilson, J. L., 1974. Characteristics of Carbonate Platform Margins. AAPG. Springer-Verlag, 58: 471p.



## **LA FORMACION SAN CAYETANO EN EL CONTEXTO DE NUEVOS ENFOQUES EN LA EXPLORACION DE PETROLEO Y GAS**

Aliena Flores Nieves, Jorge R. Sánchez Arango

*(1)Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington # 169, Cerro. Ciudad de la Habana.*

*Teléfonos: 57 - 7309., E - mail: alienao@ceinpet.cupet.cu.*

La Formación San Cayetano se conoce ampliamente en tierra en la región occidental de Cuba, tanto en superficie como en el subsuelo, aunque su edad y espesor ha sido polémicos, se acepta la edad mas probable de Jurásico Inferior a Medio y un espesor entre 1000-3000 m. La tectónica compresiva ha influido notablemente en que se asocie con niveles de despegue, intensos plegamientos y procesos diagenéticos.

Su litología siliciclástica rellena las cuencas de grábenes y semi-grábenes desarrolladas durante la etapa sincrónica a la ruptura, entre Laurentia (placa Norteamericana) y Gondwana (placas Suramericana y Africana).

Para los sectores en tierra se aborda la Formación San Cayetano en el subsuelo en el sector de Los Arroyos, fundamentalmente el paleoambiente y el potencial generador de hidrocarburos vinculado a los tipos gaseosos más ligeros.

En afloramientos, nuevos estudios más precisos han identificado paquetes de sedimentos, cuyos datos geoquímicos evidencian un potencial generador de naturaleza sapropélica. Consecuentemente se ha sugerido la existencia de un nuevo sistema petrolero en el noroeste de Cuba asociado al syn-rift de la Formación San Cayetano, ligado a la sedimentación de un profundo graben con rocas madres sobremaduras.

Se exponen nuevas investigaciones llevadas a cabo en la Zona Económica Exclusiva de Cuba en el Golfo de México a partir de la información sísmica. Los clásticos de San Cayetano se depositaron durante la ruptura continental entre el bloque de Yucatán y el Arco de Sarasota y se corresponde con la etapa de apertura del Golfo de México.

Entre los estrechos de Yucatán y la Florida alternaron los clásticos de San Cayetano con las plataformas hipersalinas y dolomíticas.

Así, hacia el noroeste del dominio cubano de las aguas profundas se expresan evidencias de un sistema petrolero profundo completamente sellado desde el Cretácico.



## ESTUDIO DE LOS FORAMINIFEROS RECIENTES PRESENTES EN LOS SEDIMENTOS DE LA ZONA FÓTICA (60 – 150 M) AL NORTE DE CAYO BAHIA DE CADIZ, CUBA.

**María Elena Chávez Marrero**<sup>(1)</sup>, **Ana Ivis Torres Silva**<sup>(2)</sup> y **Roberto Guerra García**<sup>(1)</sup>.

(1) Instituto de Oceanología, Ave. 1 No. 18406 e/ 184 y 186, Rto. Flores, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: costa@oceano.inf.cu

(2) Instituto de Geología y Paleontología, Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca s/n y Czda. de Güines, San Miguel del Padrón, C.P. 11000, C. Habana, Cuba.

### RESUMEN

Se determinan por primera vez las asociaciones de foraminíferos en la parte baja de la zona fótica, desde los 60 hasta 150 m de profundidad. El muestreo fue realizado al norte de Cayo Bahía de Cádiz, en la ecoregión norcentral, auspiciado por el Museo de Historia Natural de Basilea, Suiza. Se tomaron 24 muestras de sedimentos superficiales, encontrándose además la ubicación de la termoclina en la época de muestreo (Verano). La selección de los diferentes taxones se realizó a través del método de cuarteo, con el objetivo de obtener de 300 a 400 ejemplares los cuales fueron divididos en aglutinados, lamelares perforados, aporcelanados, foraminíferos planctónicos, ostrácodos y macroforaminíferos. El índice de abundancia NF (número de foraminíferos por gramo de sedimento), se determinó usando la metodología de Boltovskoy 1965. En todos los casos tanto por peso como por cantidad de ejemplares, los foraminíferos bentónicos fueron los más abundantes. El NF se comportó de manera irregular disminuyendo y aumentando indistintamente con respecto a los parámetros de profundidad y salinidad, para este análisis fue utilizado el método estadístico multivariado de Escalado Multidimensional, lo cual nos permite inferir que la abundancia de los foraminíferos está determinada por el tipo de sedimento del fondo y no por los parámetros de profundidad y salinidad. La especie más abundante fue la *Amphistegina gibbosa*, seguida de los foraminíferos aglutinados, y la mayor abundancia de foraminíferos vivos ocurrió a los 92 m, antes de aparecer el salto de temperatura o termoclina.

### ABSTRACT

The forams associations are determined for the first time in the low photic zone between 60 and 150 m of depth. The sampling was carried out to the north of Cayo Bahía of Cádiz, in the northcentral cuban ecoregion, favored by the Museum of Natural History of Basel, Switzerland. 24 samples were taken of superficial sediments, it also was found the termoclina in the summer season. With the objective to obtain from 300 to 400 specimens the different taxons selection was carried out through the quarter method, which were divided in to agglutinated, lamelar perforated, porcelaneous, planctonic forams, ostracods and larger forams. The abundance index NF (forams number for gram of sediments), was determined using the methodology of Boltovskoy 1965. The benthic forams were the most abundant either by weight or by quantity of specimens. The NF behaved in an irregular form, diminishing and increasing indistinctly respect to the depth and salinity parameters, for this analysis the statistical multivariate method of Multidimensional Scaling was used, that allows us to infer that the forams abundance is determined by the sediments type of



the bottom and not by the parameters of depth and salinity. The most abundant species was the *Amphistegina gibbosa*, followed by the agglutinated forms, at 92 m happened the biggest abundance of forams alive, before appearing the termoclina.

## INTRODUCCIÓN

Las primeras investigaciones sobre foraminíferos en Cuba se remontan a 1839 cuando el naturalista francés Alcides Dessalines De Orbigny hace un reporte y descripción sistemática de 129 especies de ellas 4 de los llamados macroforaminíferos, sin embargo tiene como dificultad que no da a conocer ni la ubicación ni la ecología de dichas especies.

Se desarrollaron además trabajos referidos a foraminíferos recientes de zonas marinas de mayores profundidades, los cuales igualmente fueron de carácter sistemático, donde podemos citar los reportes de las expediciones del Ketch Atlantis en los años 1938 - 1939 y las notas taxonómicas de los foraminíferos dragados por las expediciones del H.M.S. Challenger durante los años 1873 - 1876, reportados por H.B. Brady en 1960.

Posteriormente se dieron a conocer otros trabajos con el mismo fin, esta vez en las zonas internas de la plataforma cubana, siempre en las profundidades de 0 - 5 m, entre los que se destacan los realizados por Pedro J. Bermúdez (1935).

A partir del año 1994, se comenzó a recuperar la información sobre foraminíferos que existía en el Departamento de Geología del Instituto de Oceanología, llegándose a realizar la primera versión del listado taxonómico actualizado de los foraminíferos reportados para Cuba. Además se han utilizado los foraminíferos vinculándolos a trabajos de biodiversidad y estudios ambientales como ha sido el caso del Proyecto para la biodiversidad y el desarrollo sostenible del archipiélago Sabana – Camagüey.

El presente trabajo se realiza con el objetivo de conocer la composición, abundancia y distribución de los foraminíferos de la zona fótica (60 –150 m) al este de la península de Hicacos.

La zona de estudio está ubicada en la zona exterior de la plataforma nororiental de Cuba, entre los cayos Cruz del Padre y Bahía de Cádiz, limitada al norte por las coordenadas (23° 13' 10" y 23° 17' 53") y al oeste por las coordenadas (80° 29' 07" y 80° 50'51").

Esta zona se caracteriza por tener un borde de la plataforma bien marcado con una caída brusca a partir de los 30 – 40 m de profundidad.

Las aguas son limpias con poca sedimentación terrígena y transparencia de 30 m, con influencia de las aguas mas salinizadas y densas provenientes de la Bahía de Santa Clara.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el sondeo batimétrico se utilizó una ecosonda digital marca FURUNO FCV612 acoplada a una computadora portátil (Pentium II), en la cual se registro simultáneamente la localización obtenida con un GPS marca FURUNO. Los sondeos fueron realizados tanto en el período de marea alta como en marea baja, teniendo en cuenta que la



amplitud de marea no superó los 50 cm, esta variación puede considerarse despreciable para nuestros objetivos.

La toma de muestras para la determinación de los parámetros oceanográficos, Temperatura y Salinidad, se hizo a través de termómetros reversibles y botellas Nansen, la salinidad se determinó a través de un salinómetro.

El muestreo de sedimentos superficiales se realizó a través de un extractor de fondo (jaiba) modelo Okean-50. Las muestras obtenidas fueron lavadas inmediatamente con agua dulce, secadas a temperatura ambiente y cuarteadas hasta obtener la cantidad suficiente para la obtención de 300 a 400 ejemplares de foraminíferos.

La muestra cuarteada se pesó y posteriormente se analizó bajo el microscopio estéreo, modelo MBC-9. De cada muestra seleccionamos de 300 – 400 ejemplares de foraminíferos bentónicos, planctónicos y ostrácodos, los cuales también fueron pesados y posteriormente clasificados.

En cada punto de muestreo se midió la profundidad (m), temperatura (°C), salinidad (‰), el número de foraminíferos aporcelanados, aglutinados, lamelares perforados, *Archais*, *Cyclorbiculina*, *Amphistegina*, *Heterostegina*, foraminíferos planctónicos y Ostrácodos.

La cantidad de material tomado en cada muestra no fue suficiente para realizar estudios de granulometría debido a las características del fondo. En la muestra de los 60 m se obtuvo un material compuesto por arena fina, y a medida que se descendió hasta la profundidad de 150 m, se obtuvo un material compuesto por arena gruesa y media, con corales, esponjas y gorgonias, en un fondo duro, probablemente de roca caliza organógena.

Dada la naturaleza y características de los datos obtenidos (los grupos de foraminíferos, la salinidad, la temperatura y la profundidad), se usó como criterio de afinidad, la correlación lineal simple y la distancia euclidiana.

Para diferenciar los puntos de muestreo, a partir de los elementos medidos, se realizó un análisis de Q- cluster y R-Cluster, usando un ligamiento completo y la distancia euclidiana, a su vez la matriz de distancia obtenida en este análisis sirvió de base al método de escalado multidimensional (Legendre, 1983), el cual tiene el objetivo de describir con mayor claridad la estructura y relaciones naturales entre los intervalos y parámetros medidos.

Los datos se describieron utilizando la estadística básica y posteriormente se sometieron a un análisis a través de métodos multivariados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Elección del Perfil de estudio

Se realizaron siete (7) perfiles de batimetría con el objetivo de buscar una zona de muestreo, de sedimentos superficiales, entre los 60 y los 200 metros de profundidad. Los perfiles se encuentran ubicados según aparece en la Tabla I.



Tabla I. Ubicación de los perfiles de batimetría.

Perfiles	Ubicación	Coordenada inicio	Coordenada final
Perfil 1	2.5 millas náuticas, de Cayo Galindo	23° 17' 12" N 80° 50' 48" W	23° 17' 53" N 80° 50' 51" W
Perfil 2	4.1 millas náuticas, de Cayo Boca Rompida.	23° 15' 44" N 80° 48' 02" W	23° 16' 50" N 80° 48' 05" W
Perfil 3	3.1 millas náuticas de Cayo Ranas.	23° 15'00" N 80° 44'00" W	23° 16'00" N 80° 44'01" W
Perfil 4	2.2 millas náuticas de Arrecifes Juan Clarito.	23° 15'08" N 80° 39'23" W	23° 15'43" N 80° 39'23" W
Perfil 5	2.6 millas náuticas de Punta Gorda.	23° 15'25" N 80° 34'53" W	23° 14'47" N 80° 34'53" W
Perfil 6	0.37 millas náuticas de Cayo Bahía de Cádiz.	23° 13' 06" N 80° 29' 12" W	23° 15' 06" N 80° 29' 16" W
Perfil 7	0.5 millas náuticas de Cayo Bahía de Cádiz.	23° 13' 10" N 80° 29' 07" W	23° 15' 07" N 80° 29' 18" W

Se decidió realizar el muestreo entre los perfiles 6 y 7, porque son los que presentan una pendiente más suave entre los 60 y 200 m de profundidad, los restantes perfiles muestran una caída brusca del canto de la plataforma entre los 30 y 40 m de profundidad, por tal motivo fue imposible la recolección de muestras de sedimentos utilizando el extractor de fondo.

### Caracterización Oceanográfica del perfil de muestreo

Las estaciones oceanográficas se realizaron en un mismo perfil, buscando los 200 m de profundidad.

La temperatura superficial del agua osciló de 29.0°C a 29.9°C, y fue incrementándose de la estación 1, a las 11:16 a.m., a la última estación, a las 12:26 p.m, producto del calentamiento diurno y la acción de la radiación solar sobre la superficie del mar.

La estación No. 1 presentó una disminución térmica de 0.5°C entre un nivel y otro, la diferencia constante de temperatura entre la superficie y los 50 m de profundidad fue de 1.5°C.

La distribución vertical de la temperatura fue semejante para las tres estaciones hasta la profundidad de 75 m, por lo tanto podemos afirmar que la distribución de calor en las estaciones muestreadas es homogénea, y que esta corresponde a la masa de agua tropical superficial.

Por debajo de los 75 m se encontró el salto de temperatura o termoclina que se correspondió con un incremento de la salinidad que se describe en la literatura como agua subsuperficial subtropical.



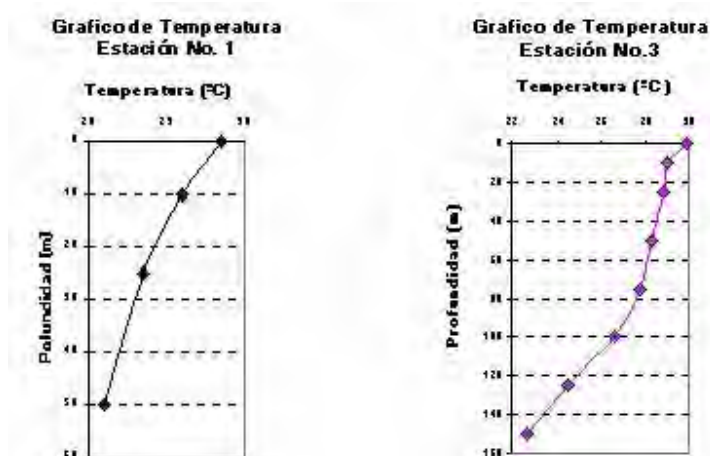


Figura 1 Gráficos de distribución vertical de la temperatura de las estaciones 1 y 3.

En los gráficos de temperatura de las estaciones 1 y 2 no se encuentra definida la termoclina, mientras que en el gráfico de la estación 3 (figura 1), la misma se encuentra entre los 100 y 125 m de profundidad, con una variación en la temperatura de 2.1°C y un incremento de la salinidad de 0.3 ‰ (psu).

### Caracterización de la microfauna

La caracterización de la microfauna se realizó en las muestras tomadas en el perfil seleccionado como aparece explicado anteriormente.

En el mismo se tomaron trece muestras de sedimentos superficiales, las coordenadas de ubicación y la profundidad aparecen reflejadas en la tabla II.

Tabla II. Ubicación de las muestras de sedimentos superficiales.

Muestra	Profundidad(m)	Latitud N	Longitud W
M-1	66	23° 13' 34"	80° 29' 11"
M-2	80	23° 13' 35"	80° 29' 02"
M-3	82	23° 13' 36"	80° 29' 12"
M-4	92	23° 13' 37"	80° 29' 10"
M-5	100	23° 13' 37"	80° 29' 11"
M-6	108	23° 13' 40"	80° 29' 11"
M-7	111	23° 13' 42"	80° 29' 09"
M-8	113	23° 13' 32"	80° 29' 23"
M-9	124	23° 13' 42"	80° 29' 12"
M-10	125	23° 13' 43"	80° 29' 12"
M-11	136	23° 13' 42"	80° 29' 14"
M-12	149	23° 13' 43"	80° 29' 14"
M-13	150	23° 13' 45"	80° 29' 14"

El peso de las muestras cuarteadas osciló de 0.82 g, en sedimento más fino, a 11.82 g en sedimento más grueso. En todos los casos tanto por peso como por cantidad de ejemplares, los foraminíferos bentónicos fueron los más abundantes.



El índice de abundancia (NF) se determinó usando la metodología de Boltovskoy 1965, la misma consiste en determinar el número de foraminíferos por gramo de sedimentos. Este análisis reveló el resultado expuesto en la tabla III.

Tabla. III Índice de abundancia de foraminíferos (NF) para cada muestra.

Muestras	NF <sub>Total</sub>	NF <sub>Fbentónicos</sub>	NF <sub>Fplanctónicos</sub>
M-1	171	166	5
M-2	88	85	3.4
M-3	50	49	1
M-4	35	33	2
M-5	27	24	0.3
M-6	53	52	1
M-7	441	422	19
M-8	92	91	1
M-9	495	474	20
M-10	158	153	5
M-11	72	70	2
M-12	107	104	3
M-13	93	89	4
Promedio	144.76	139.38	5.13
Mínimo	27.00	24.00	0.30
Máximo	495.00	474.00	20.00
Desv. St.	150.00	143.49	6.56

Se observa como los valores mínimos y máximos del (NF) varían de 24 en la profundidad de los 100 m a 474 en la profundidad de los 124 m, con una desviación estándar elevada.

Sin embargo podemos observar además que, a medida que va aumentando la profundidad de los 66 m con un NF de 171, desciende hasta un NF de 52 en la profundidad de 108 m, posteriormente aumenta bruscamente en los 111 m y comienza nuevamente a descender a los 136 m. Consideramos que estas variaciones están dadas por el tipo de sedimento del fondo, ya que las características oceanográficas varían poco donde se producen estos cambios bruscos.

Los macroforaminíferos se clasificaron los siguientes géneros: *Archaias*, *Cyclorbiculina*, *Amphistegina* y *Heterostegina*. Los restantes ejemplares se clasificaron en aporcelanados, aglutinados, lamelares- perforados, foraminíferos planctónicos y Ostrácodos.

Los ejemplares fueron divididos en vivos y muertos con el objetivo de conocer el comportamiento de los mismos a lo largo del perfil. Fueron encontrados 133 foraminíferos vivos (tabla IV). Siendo los más abundantes las Amphisteginas, seguido de los lamelares perforados; la zona más productiva se detectó a los 92 m de profundidad, antes de la aparición de la termoclina, estando el fondo caracterizado por la presencia de arena media, con esponjas, corales y gorgonias, una temperatura de 27,0 °C y una salinidad de 36.0 ppm,

El análisis de agrupamiento (cluster), nos ayudó a confirmar la hipótesis de que no existe una relación entre la profundidad, temperatura, salinidad y la abundancia de foraminíferos en el área de estudio.



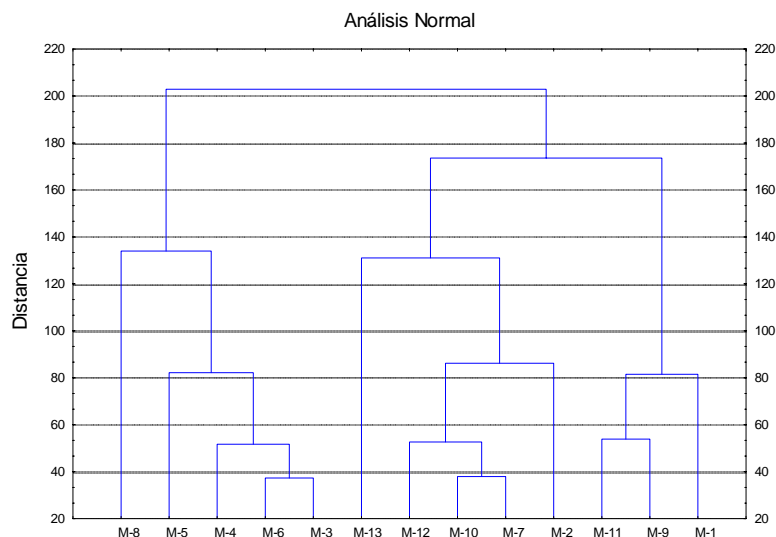
Tabla.IV Cantidad de foraminíferos vivos encontrados en el perfil.

Muestra	Profundidad (m)	Foraminíferos
M-2	80	9
M-4	92	84
M-5	100	6
M-6	108	32
M-8	113	2
Total		133

### Análisis de Agrupamiento (Cluster)

El análisis integral de las muestras basándonos en los métodos estadísticos nos ayudó a confirmar nuestra hipótesis: No se deduce una relación estrecha entre la profundidad, temperatura, salinidad y la abundancia de foraminíferos.

El análisis normal por muestra teniendo en cuenta la distancia, nos define tres grupos claramente. (figura 2)



Grupo I (M-8, M-5, M-4, M-6, M-3)

Grupo-II (M-13, M-12, M-10, M-7, M-2)

Grupo III (M-11, M-9, M-1)

Figura 2 Análisis normal.

Grupo I, representado por las muestras donde aparece la *Amphistegina* en un 59% de predominio sobre las demás formas lamelares perforadas, aglutinadas y aporcelanadas, entre las profundidades de 82 a 113 m.

El Grupo II se distingue por el predominio de las formas aglutinadas con un 59 %, sobre las demás formas.



El Grupo III se caracteriza por el predominio de las formas lamelares perforadas con un 33 %. Sin embargo no supera los valores del grupo II en su porcentaje de aparición, este grupo además presenta los valores más bajos de formas aglutinadas con un 10 %.

En el análisis inverso (figura 3) podemos observar que las formas lamelares perforadas, aglutinadas, aporcelanadas y las amphisteginas presentan una relación mayor con la profundidad, tendiendo a aumentar el número de individuos a medida que esta aumenta. Esta tendencia se manifiesta de forma general aunque es interrumpida por cambios bruscos inesperados, sin embargo esto puede estar dado por las características del sustrato en el punto de muestreo, y por tal motivo podríamos considerar la medición insuficiente.

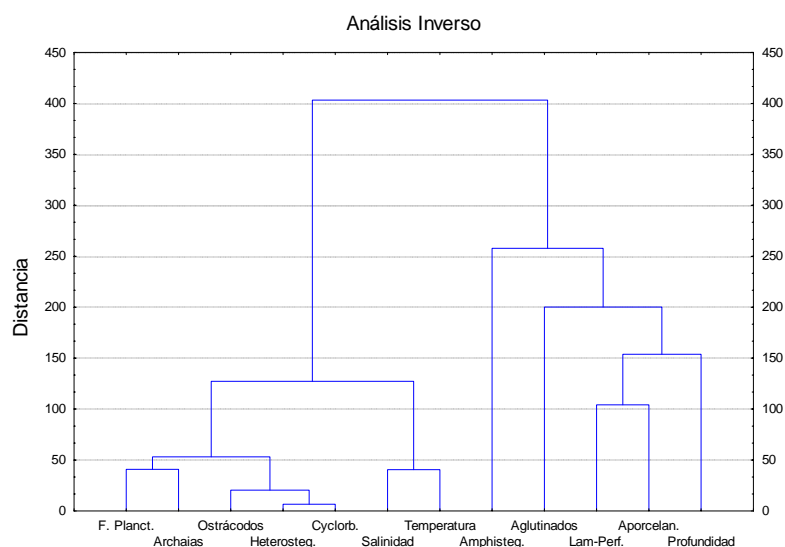


Figura 3 Análisis Inverso.

Podemos confirmar también la estrecha relación entre los parámetros temperatura y salinidad, y aunque no tan estrechamente relacionados, aparecen tendiendo a ellos los foraminíferos planctónicos, ostrácodos, archaias, heterostegina y cyclorbiculina, lo que nos ayuda a concluir que a medida que va disminuyendo la temperatura y la salinidad la aparición de estos grupos va disminuyendo.

### Escalado Multidimensional

Nos detuvimos a realizar un análisis estadístico más profundo debido a la poca cantidad de perfiles realizados, y por tal motivo usamos el Análisis multidimensional para reordenar nuestros datos sin perder la estructura inicial y obtener tres atributos que nos los caracterizaran. Con dicho análisis vimos más claramente que, las estaciones más relacionadas son la (M-6, M-3, M-4, M-7, M-13) (figura 4), que precisamente son las que contienen al Grupo I del análisis normal.

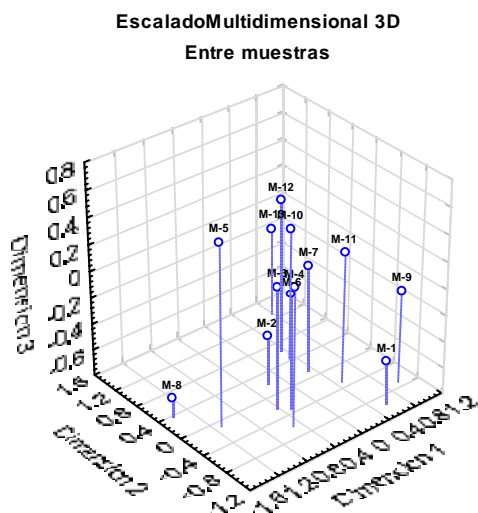


Figura 4 Escalado multidimensional entre muestras.

Cuando analizamos la relación 3D entre parámetros (figura 5) vemos como la amphistegina, está más distante de los restantes, aunque al mismo nivel que los lamelares perforados y aporcelanados, por lo que podemos decir que su frecuencia de aparición no se relaciona con ninguno de los parámetros medidos, y a su vez las formas aglutinadas son las más lejanas a estas, en las muestras que existe mayor porcentaje de aglutinados es donde menor frecuencia de aparición tienen las amphisteginas. Los lamelares y aporcelanados se encuentran más relacionados con la profundidad, y las restantes formas se observan más relacionadas con la temperatura y la salinidad.

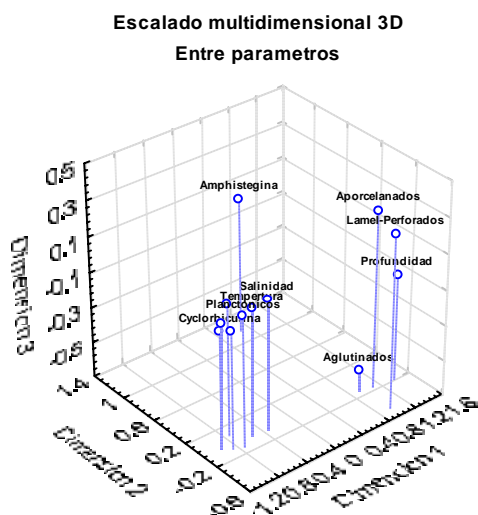


Figura 5 Escalado multidimensional entre parámetros.



## CONCLUSIONES

1. La zona de estudio entre 60 - 200 m de profundidad se redujo a un perfil de muestreo de sedimentos superficiales, debido a las características de la plataforma nororiental de Cuba.
2. No se manifestó una relación estrecha entre la profundidad, temperatura, salinidad y la abundancia de foraminíferos. Se comprobó una tendencia de proporcionalidad con los aporcelanados y lamelares perforados.
3. Los grupos más abundantes en el muestreo fueron las Amphisteginas y los aglutinados, apareciendo una relación inversa entre ellos.
4. La aparición de foraminíferos vivos estuvo entre los 80 y 113 m de profundidad, ocurriendo la máxima a los 92 m, antes de aparecer el salto de temperatura o termoclina y fue disminuyendo a medida que aumentó la profundidad.

## BIBLIOGRAFIA

- Bermúdez Pedro J., 1935. Foraminíferos de la costa norte de Cuba. Memorias de Sociedad Cubana de Historia Natural Felipe Poey. (Cuba), Vol.IX, num. 3: 12 – 35.
- Boltovskoy E., 1965. Los Foraminíferos Recientes. 2 ed., Buenos Aires: Eudeba, 329 p.
- Legendre P. and L. Legendre, 1983. Numerical Ecology. Developments in Environmental Modelling 3.ed, Netherland: Elsevier Scientific Publishing Company, 925 p.





## TECTONIC IMPLICATIONS OF PALEONTOLOGIC DATING OF CRETACEOUS-DANIAN SECTIONS OF NORTHEASTERN CUBA

M. A. Iturralde-Vinent <sup>1</sup>, C. Díaz Otero <sup>2</sup>, A. Rodríguez Vega <sup>3</sup> and R. Díaz Martínez <sup>3</sup>

(1) Museo Nacional de Historia Natural, Obispo no. 61, Plaza de Armas, La Habana, Cuba

(2) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba

(3) Instituto Superior Minero-Metalúrgico, Departamento de Geología, Las Coloradas de Moa, Holguín, Cuba

Samples taken from sedimentary strata within volcanic and metavolcanic sections in Northeastern Cuba, within the Mayarí-Baracoa and Sierra del Purial Mountains, yield microfossils of Cretaceous through Danian age. Within the Mayarí Mountains the Téneme Formation are basalts and hyaloclastites with few intercalations of well-bedded foliated limestone and shaly limestone that contain, in the type area, an assemblage of planktonic foraminifera which can be dated as Turonian or early Coniacian. In the Moa-Baracoa massif, back-arc pillow basalts with ribbon cherts outcrop in the area named Morel, underlying a late Turonian or Coniacian limestone bed intercalated with foliated carbonaceous rocks. The upper part of the late Turonian(?) - Campanian Santo Domingo Formation crops out west of Moa, composed of fine-grained well-bedded volcanoclastic rocks with two intercalated lenses of coarse-grained impure biocalcudites to biocalcarenes. They yield a mixed penecontemporaneous planktonic and bentonic microfossil assemblage of the lower part of the late Campanian (*Globotruncana calcarata* zone). In Sierra del Purial, crystalline limestones intercalated within the metavolcano-sedimentary Río Baracoa section of the Purial metamorphic complex yield Campanian microfossils. The early Maastrichtian Yaguaneque (=Cañas) limestones are widely developed in both Mayarí-Baracoa and Purial Mountains. All the formations previously mentioned are unconformable overlies and tectonically intermingled with late Maastrichtian-early Danian clastic rocks of the Mícara and La Picota Formations. Our dates demonstrate, for the first time, that "primitive island arc tholeiite" (Téneme Formation) can be of Late Cretaceous age in the Greater Antilles, contrary to previous believe that PIA basalts were only Lower Cretaceous. The fact that the protolith of the Purial metamorphic complex is of Maastrichtian-early Danian (?) but certainly Campanian and older in age, suggest that the metamorphism took place probably in the late Maastrichtian, simultaneously with the detachment, exhumation and emplacement of allochthonous mafic-ultramafic units. This series of events may be correlated with a worldwide orogeny linked to a major change in the rate and direction of plate movements. Local punctuated events recorded in Eastern Cuba, as well as in Guatemala, might have been related with the insertion of a thick oceanic ridge into the subduction zone.



## BIOESTRATIGRAFIA DE LOS SEDIMENTOS TERCIARIOS BITUMINOSOS EN EL AREA BOCA DE JARUCO.

**Lourdes Ma Pérez Estrada , José Fernández Carmona ,José Hernández León y Alberto H Domínguez .**

Centro de Investigaciones del Petróleo. Calle Washington # 169 esq. Churrucá Cerro, C. de la Habana E.  
mail: [perezl@ceinpet.cupet.cu](mailto:perezl@ceinpet.cupet.cu), [jf@ceinpet.cupet.cu](mailto:jf@ceinpet.cupet.cu), [alberto@digicupet.cu](mailto:alberto@digicupet.cu),

### RESUMEN

El estudio bioestratigráfico y petrográfico integrado, ha permitido establecer divisiones más precisas en los sedimentos de cuenca de antepais (foreland) y postorogénicos en el yacimiento gasopetrolífero de Boca de Jaruco situado al norte de la provincia de la Habana.

Dicho estudio permite identificar eventos paleobiológicos importantes a escala regional con el objetivo de establecer los modelos sedimentarios y tectónicos y la ubicación en el tiempo de las cuencas cubanas.

Se establecieron las diferentes biozonas para las edades reportadas en estos sedimentos. Además las asociaciones fósiles descritas en el trabajo, han resultado buenos marcadores paleoambientales, depositados en ambientes que van de plataforma externa a batial.

Las descripciones petrográficas son de modo general uniformes en los intervalos estratigráficos seleccionados, determinándose en las secciones más profundas cretas de coccolitos friables de color pardo oscuro, calcilita friable que transicionan a biocalcarenitas arenosas, no consolidadas marcando una retrogradación evidente en la vertical. Las rocas están fuertemente impregnadas de petróleo.

Estos depósitos han sido correlacionados en los perfiles sísmicos, donde se pueden mapear discordancias, acunamientos y truncaciones.

Durante la perforación y ensayo de los depósitos bituminosos terciarios en este yacimiento de la Franja norte de crudos pesados se obtuvo entrada de asfalto, petróleo pesado de 6 grados de API y gas, asociadas a zonas de dislocación tectónica que sirvieron de vía rápida de migración.

### ABSTRACT

The integrated biostratigraphic and petrographic studies have established more specific divisions between foreland and postorogenic sediments in the oil field Boca de Jaruco, located to the north of Havana province.

This study permits to identify important paleobiological events to regional scale with the objective of establishing the sedimentary and tectonic models and the location in time of the Cuban basins.

They were established the different biozones for the reported areas in these sediments. Also, the fossil associations described in this work, have resulted good paleoenvironmental markers, deposited in environments from outer platform to batial ones.

The petrographic descriptions are uniform in the selected stratigraphic intervals, being determined in the deeper sections, chalks with friable coccolithes with dark color, friable calcilitites that grade to sandy biocalcarenites, unconsolidated, marking an evident retrogradation in the vertical direction. The rocks are strongly oil impregnated.

These deposits have been correlated in seismic profiles, where unconformities wedges and truncations are mapped.

During the drilling and oil tests of Tertiary bituminous deposits in this Heavy crude Northern Belt, it was obtained asphalt entrance, heavy oil of 6 grades API and gas, associated to tectonic dislocation zones, that served as rapid migration ways.



## INTRODUCCIÓN

Los sedimentos Terciarios bituminosos han sido estudiados con anterioridad por (Pérez, L y Lima, T. 1989), (Domínguez, H. 2003) sin embargo por vez primera se realiza un estudio bioestratigráfico integrativo con el objetivo de que dicho trabajo sirva de base para esclarecer el desarrollo geológico que ha tenido el yacimiento así como para datar con seguridad sedimentos que contienen foraminíferos y nannoplácton calcáreo.

Los horizontes estudiados están ubicados en el Yacimiento Boca de Jaruco y se corresponden con los sedimentos sinorogénicos de edad Paleoceno hasta el Eoceno inferior de la Cuenca de antepaís y los sedimentos post-orogénicos de edad Eoceno medio hasta el Mioceno. Los cortes estudiados, se delimitan a una profundidad, entre los 400 y 960m, con un espesor aproximado de 170m.

## MATERIALES Y METODOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron las muestras de canal y muestras de núcleos de mas de 100 pozos del yacimiento de Boca de Jaruco (pozos verticales y pozos dirigidos) donde fue reportada la presencia de bitumen, así como los informes de pozos existentes en el archivo del CEINPET.

Primeramente fueron estudiadas con un intervalo de 10 metros las muestras de drill cuttings y ditches para el estudio litológico y micropaleontológico de los intervalos bituminosos.

Ya habiendo establecido la edad, distribución y Formaciones se realizó la evolución paleoambiental de la cuenca de antepaís y de los sedimentos post-orogénicos.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las secuencias están representadas por un complejo faunal compuesto por foraminíferos planctónicos, foraminíferos bentónicos pequeños, nannoplácton calcáreo, macroforaminíferos y radiolarios, predominando de forma general los foraminíferos planctónicos sobre el resto de la fauna.

Basándonos en los complejos faunales determinamos los siguientes intervalos estratigráficos:

- Mioceno
- Oligoceno
- Eoceno superior
- Eoceno medio
- Eoceno inferior parte alta
- Eoceno inferior parte baja
- Paleoceno superior

### Mioceno

Corresponde al intervalo mas alto del corte estudiado y esta representado por Biocalcarenita arcilloso-limosa y arenoso-conglomerática, de color blanco-crema, friable. Se observa fracción arenosa gruesa a gránulos de calizas microcristalinas y pedernal gris claro, así como abundantes foraminíferos sueltos en los pozos verticales mientras que en los pozos dirigidos los cuales se hallan mas al norte se describen Cretas friables de color pardo oscuro grisáceo, microlaminada por juntas de disolución, fuertemente impregnada por petróleo pesado-asfalto,



con una escasa fracción de arena gruesa de calizas microcristalinas y dolomitas. Esta litología es descrita por primera vez en estos sedimentos.

Los sedimentos del mioceno se pueden considerar de forma general de edad Mioceno medio donde se describe el siguiente complejo faunal planctónico :

***Orbulina universa*, *O. bilobata*, *Sphaeroidinellopsis subdehiscens*, *Sphaeroidinella grimsdalei*, *Globorotalia mayeri*, *G. foshi*, *G. foshi peripheroacuta*, *G. foshi lobata*, *G. foshi robusta*, *G. praemenardii*, *G. obesa*, *G. cultrata cultrata*, *G. scitula*, *Globigerinoides quadrilobatus*, *G. immaturus*, *G. trilobus*, *Globigerina venezuelana*, *Globoquadrina dehiscens*, *G. altispira*.**

La fauna bentonita esta representada por:

***Amphistegina angulata*, *Uvigerina maoensis*, *Saracenaria sp*, *Textularia sp*, *Planulina sp*, *Uvigerina sp*, *Bulimina sp*.**

#### Oligoceno

El Oligoceno esta representado por diversas litologías que son calcarenita no consolidada de grano muy grueso, con comunes gránulos, bien redondeados, principalmente de calizas microcristalinas, biocalcarenitas, pedernales grises y calcita espática. Algunos granos están impregnados por bitumen. Además se observa calcilitita friable pardo muy oscuro, laminada por juntas de disolución, impregnada de petróleo y escasa biocalcarenita arenosa, no consolidada, con abundante contenido de fósiles y clastos de calizas diversas con fracción arena gruesa-conglomerado. También hay cretas friables fosilífera, masiva con un 10 a 15 % de arena calcárea de grano grueso-medio formada por granos redondeados de calizas microcristalinas y dolomitas fuertemente impregnadas con petróleo pesado-asfalto

El complejo faunal, que define este piso esta representado por: ***Globigerina sellii*, *G. pseudoampliapertura*, *G. ciperoensis angulisuturalis*, *G. ciperoensis angustiumbilitata*, *G. tripartita*, *G. ciperoensis ciperoensis*, *G. ampliapertura*, *G. binaeiensis*, *Globorotalia opima opima*, *G. opima nana*, *Chiloguembelina cubensis*, *C. victoriana*, *Siphogenerina multicostata*, *Dorothia brevis*, *Siphonina tenuicarinata*, *Anomalina pompiloides*, *Eponides umbonatus*, *Uvigerina rustica*, *Uvigerina sp*, *Bulimina alazanensis*, *Pyramidulina gallowayi*, *Cibicides sp*, *Abundantes cocolitos*, *Discoaster cf. D. tani*.**

#### Eoceno superior.

Se describe litológicamente como una creta friable de color pardo claro, masiva, fosilífera, con abundantes foraminíferos bien preservados, fuertemente impregnada de petróleo relacionada con su microporosidad.

La fauna para esta edad esta dada por: ***Hantkenina brevispina*, *Globigerinatheka semiinvoluta*, *G. mexicana mexicana*, *Globorotalia centralis*, *G. cerroazulensis*, *Catapsydrax dissimilis*, *Globigerinita pera*, *G. unicava*, *Lenticulina sp*, *Bulimina tuxpamensis*, *Osangularia mexicana*, *Cassidulina havanensis* y *Globocassidulina subglobosa*.**



### Eoceno medio.

Representado por Biocalcarenita arenosa, no consolidada, con un abundante contenido de fósiles, y clastos de diversas calizas con fracción arena gruesa-conglomerado, de colores blanco y crema (70-75%). Abundante fracción arena media de cuarzo (20%) y calcilutita friable pardo oscuro, en un 5-10%, laminada por juntas de disolución, impregnada de petróleo. Algunos de los fósiles están fuertemente impregnados de petróleo.

La fauna planctónica la integrada por: ***Hantkenina dumblei*, *Truncorotaloides topilensis*, *Globigerinatheka mexicana barri*, *Acarinina bullbrookii*, *A. spinuloinflata*, *Acarinina broedermanni*, *Morozovella spinulosa*, *M. lehneri*, *Orbulinoides beckmanni*.**

### Eoceno Inferior parte alta.

Caracterizado por creta de cocolito friable, de color pardo muy oscuro por su fuerte impregnación, que contiene fragmentos de fracción arenosa gruesa de calizas diversas (principalmente biocalcarenitas, menos mudstone calcáreos muy recristalizados y escasas dolomitas microcristalinas), manchadas de pardo por impregnación. Abundantes fósiles sueltos fuertemente impregnados de petróleo. Escasos fragmentos de pedernal y de cuarzo, manchados de petróleo.

El complejo faunal del Eoceno inferior parte alta esta representado por las especies de ***Morozovella aragonensis*, *Acarinina broedermanni*, *Pseudohastigerina micra*, *A. pseudotopilensis*, *A. triplex*, *A. crassaformis*, *A. aspensis*, *A. convexa*, *A. pentacamerata*, *Braarudosphaera sp*, *Discoaster spp* ( Fig.1) *Radiolarios*.**

### Eoceno Inferior parte baja

Caracteriza litológicamente a este intervalo la calcilutita friable pardo muy oscuro, , laminada por juntas de disolución e impregnada de petróleo.

El complejo faunal del Eoceno inferior parte baja es el siguiente:

***Morozovella formosa*, *M. formosa gracilis*, *M. rex*, *M. aequa*, *M. marginodentata*, *Acarinina crassata*, *A. pentacamerata*, *A. crassaformis*, *A. aspensis*, *A. pseudotopilensis*, *Globigerina soldadoensis*, *Radiolarios*.**

### Paleoceno

Esta edad no se halla distribuida uniformemente en el área de estudio. Litológicamente esta caracterizado por margas con betumen no siendo un corte típico debido a la abundancia de arena de cuarzo y de arena calcárea que contiene.(Fig.2)

El complejo faunal planctónico esta representado por:

***Morozovella velascoensis*, *Morozovella angulata*, *Morozovella sp*, *Thoracosphaera prolata*, *Discoaster sp* (Fig3) ,*Ccocolitos*.,*Cruciplacolithus sp***

### Algunas consideraciones acerca de la bioestratigrafía y los ambientes deposicionales

La secuencia bituminosa se halla a todo lo largo del yacimiento, extendiéndose la misma hacia



el norte. Los sedimentos del Mioceno medio fueron determinados en todos los pozos excepto en los pozos que se hallan en el bloque Este donde la secuencia comienza en el Oligoceno, este se halla distribuido a todo lo largo del yacimiento.

Los sedimentos cretáceos del Paleoceno – Eoceno inferior se diferencian de los sedimentos cretáceos hallados en profundidad por su gran abundancia de microfósiles y por su alto contenido silíceoclastico.

### Mioceno

Durante este periodo de tiempo existe un predominio de la fauna pelágica representada por **Globigerinoides, Globorotalias, Orbulina** que nos indica un ambiente de aguas profundas y de mar abierto, la presencia los géneros bentónicos **Saracenaria sp, Textularia sp, Planulina sp, Bulimina sp** y escasos ejemplares de **Uvigerina sp** asociados a sedimentos de biocalcarenitas y cretas nos indica un ambiente de plataforma externa a batial con una profundidad entre 100-600 m. La presencia de **Amphistegina angulata** la cual es de aguas someras nos muestra que existieron corrientes de turbidez.

Esta secuencia se corresponde con la Formación Husillo la cual aflora en superficie y además esta relacionada con las biozonas del Mioceno medio que van desde la zona de **Globorotalia fohsi periferiaca** a la zona de **Globorotalia mayeri**.

### Oligoceno

De forma general esta representado por una mezcla de fauna pelágica dada por la presencia de **Globigerina, Globorotalia, Chiloguembelina** y fauna bentónica representada por los géneros **Siphogenerina, Dorothis, Siphonina, Anomalita, Uvigerina, Bulimina, Pyramidulina, Cibicides** y Abundantes **cocolitos** Este ambiente es el mas profundo dentro de todos los sedimentos acumulados teniendo profundidades entre 200 y 600m ocupando la zona batial o de talud corroborando la existencia de una trasgresión ocurrida durante esta época.

El corte se corresponde en superficie con la Formación Tinguaro y en el mismo se describen dos biozonas una que se corresponde con el Oligoceno superior (zona de **Globigerina ciperoensis-Globorotalia opima**) y una que corresponde con el Oligoceno inferior (zona de **Globigerina selli-Globigerina ampliapertura**).

### Eoceno superior.

Existe un predominio de la fauna pelágica sobre el resto de la fauna teniendo una gran diversidad y estando representada por formas espinosas y globulares tales como **Hantkenina, Globigerinatheka, Globorotalia, Globigerinita** conjuntamente con la presencia de **Lenticulina, Bulimina** y **Osangularia** restringiendo el medio deposicional a la zona de plataforma externa con profundidades de 100-200.

El corte se corresponde en superficie con la Formación Encanto y en el mismo se describen dos biozonas que son zona de **Globigerinatheka semiinvoluta** y la zona de **Globorotalia cerroazulensis**

### Eoceno medio.

Durante el eoceno medio se deposita fauna pelágica exclusivamente integrada por: **Hantkenina, Truncorotaloides, Globigerinatheka, Acarinina** y **Morozovella** todo ello nos





indica un ambiente de plataforma externa con profundidades de 100-200. Ambiente bien oxigenado dado por la abundancia de fauna pelágica.

Esta secuencia es correlacionable en superficie con la Formación Príncipe y en la misma se describen las biozonas de **Acarinina bullbrooki**, la zona de **Globigerinatheka kugleri-Morozovella lehneri**, y la zona de **Orbulinoides beckmanni**. Se halla ausente la zona mas alta del eoceno medio zona de **Truncorotaloides rohri**.

#### Eoceno inferior

Representado por fauna predominantemente pelágica de **Morozovella**, **Acarinina**, **Pseudohastigerina micra**, **Globigerina** y **Radiolarios**, indican que los sedimentos fueron depositados en condiciones de mar abierto en la zona de plataforma externa con profundidades de 100-200. La temperatura en esta edad era calida dada por la presencia **Morozovella** y **Acarinina**. Las condiciones de oxigenación en la superficie de la columna de agua pudieron ser de un ambiente de mínimo oxígeno ya que se reporta el género **Pseudohastigerina**.

#### Eoceno Inferior parte alta.

El corte se corresponde en superficie con la Formación Toledo y en el mismo se describe la biozona de **Morozovella aragonensis**.

#### Eoceno Inferior parte baja

El corte se corresponde en superficie con la Formación Capdevila y en el mismo se describe la biozona de **Morozovella rex-Morozovella formosa**.

#### Paleoceno

El corte se corresponde en superficie con la Formación Madruga y en el mismo se describe la biozona de **Morozovella angulata** y **Morozovella velascoensis**.

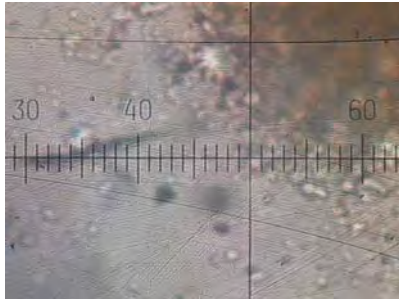
### CONCLUSIONES

1. Se describen en sedimentos del Mioceno y Oligoceno por primera vez cretas
2. Se determinan especímenes de nannoplánton calcáreo en edades del Paleoceno y Eoceno inferior que no estaban descritos en estos sedimentos
3. Se establecen 7 biozonas de foraminíferos planctónicos que abarcan los intervalos estratigráficos desde el paleoceno hasta el Mioceno medio, destacándose la ausencia de las biozonas *Truncorotaloides rohri*, *Morozovella palmerae* del Eoceno y *Planorotalites pseudomenardii* del Paleoceno.
4. Las discordancias estratigráficas principales tienen su reflejo en los perfiles sísmicos analizados.
5. Todas las biozonas reconocidas corresponden a rocas depositadas en ambientes de plataforma externa a batial y en su mayoría con fuerte impregnación de petróleo.

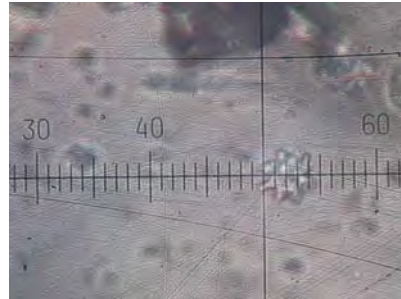


## **BIBLIOGRAFIA.**

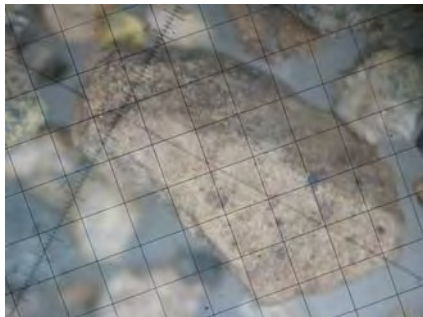
- Domínguez, A., R. Domínguez, P. Aballi, 2003. Terciario: Intervalo geológico potencialmente colector de petróleo y/o dentro de la parte occidental y sur del Golfo de México (Zona Exclusiva de Cuba). V Congreso Cubano de Geología y Minería. Archivos CEINPET. Cuba. Centro Nacional de Información Geológica. Instituto de Geología y Paleontología. 6p.
- Pérez, L., T. Lima, 1989. Estratigrafía y distribución de las secuencias bituminosas terciarias de la región gasopetrolífera La Habana-Matanzas. Archivos CEINPET. Cuba. 14p.



**Fig.1 Discoaster**  
**Pozo Boca de Jaruco 417**



**Fig.3 Discoaster**  
**Pozo Boca de Jaruco 191**



**Fig.2 Marga con bitumen**  
**Boca de Jaruco 191**





## CARACTERIZACIÓN FACIAL Y SEDIMENTOLÓGICA DE LA CUENCA CIENFUEGOS Y PARTE SUR DE LA CUENCA SANTO DOMINGO

**Iliana García Cádiz<sup>(1)</sup> ; Inés Milia González<sup>(1)</sup>**

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón,  
Ciudad de la Habana, Cuba, CP 11000, e mail – [iliana@iacemi.cu](mailto:iliana@iacemi.cu)

### RESUMEN

Sobre los restos del arco volcánico cretácico extinto, en Cuba Central, se encuentran los complejos litológicos representativos de la Cuenca Cienfuegos y parte sur de la Cuenca Santo Domingo. El análisis de las facies realizado en los sedimentos de estas secuencias, ha permitido establecer nuevos criterios en cuanto a la evolución sedimentaria de las mismas.

Se diferenciaron cinco facies litológicas; una de ellas con tres subfacies:

- (A) - Facies de calizas con microorganismos
- (B) - Facies de calizas con microorganismos e intraclastos
- (C) - Facies de calizas pelágicas
- (D) - Facies clástica:
  - (DI) – Subfacies arcósica
  - (DII) – Subfacies tobacea
  - (DIII) – Subfacies calcárea
- (E) – Facies de Silicitas

De acuerdo con las evidencias faciales, tanto la Cuenca Cienfuegos, como la parte sur de la Cuenca Santo Domingo, se originaron en un ambiente de facies de mares neríticos someros, cálidos, salobres, moderadamente enérgicos, con una fracción clástica resedimentada a corta distancia. Durante el Eoceno en ambas cuencas, se determinaron variaciones faciales verticales y laterales que se corresponden con movimientos transgresivos y regresivos.

### ABSTRACT

In Central Cuba, covering extinct volcanic arc relicts, take place lithological complexes representatives of Cienfuegos Basin and southern part of Santo Domingo Basin. Performed Facial analysis throughout sequence sediments, have allowed establishing new criteria concerning sedimentary evolution of this sequence.

There are differentiated five lithological facies; one of them with three subfacies:

- (A) - Facies of limestones with microorganisms
- (B) - Facies of limestones with microorganisms and intraclasts
- (C) - Facies of pelagic limestones
- (D) - Clastic Facies
  - (DI) - Arkosic Subfacies
  - (DII) - Tuff Subfacies
  - (DIII) - Calcareous Subfacies
- (E) – Silicite Facies
- (F) According to facial evidences, Cienfuegos Basin as well as southern part of Santo Domingo Basin were originated in a shallow neritic sea facies, warm. Brackish, moderately energetic, with clastic redeposited fraction to short distance. During Eocene, in both basins, were determined vertical and lateral facial variations, corresponding themselves with transgressive and regressive movements.



## INTRODUCCIÓN

El área de estudio comprende la Cuenca Cienfuegos y la parte sur de la Cuenca Santo Domingo, la primera bordea la bahía del mismo nombre y su corte estratigráfico es continuo desde el Cretácico Superior hasta la base del Oligoceno, la segunda ocupa las porciones occidentales de la parte central de la antigua provincia de Las Villas, y se extiende por el oeste hasta la provincia de Matanzas, su corte estratigráfico comienza en el Cretácico Superior y abarca hasta el Oligoceno (Fig.1). Los materiales de ambas cuencas, consisten en rocas carbonatadas, terrígeno carbonatadas y terrígenas, subdivididas en facies por Wassall en 1956 y separadas y descritas por primera vez en varias unidades litoestratigráficas por Kantchev y otros (1978). Posteriormente en 1984 Dilla y García señalan toda el área como una sola cuenca, no obstante actualmente se consideran dos (García, 1998; Coutín, 1998).

El este trabajo se aborda el análisis petrólogo facial de los complejos litológicos existentes en las cuencas, con el fin de contribuir al esclarecimiento de la evolución sedimentaria de las mismas.

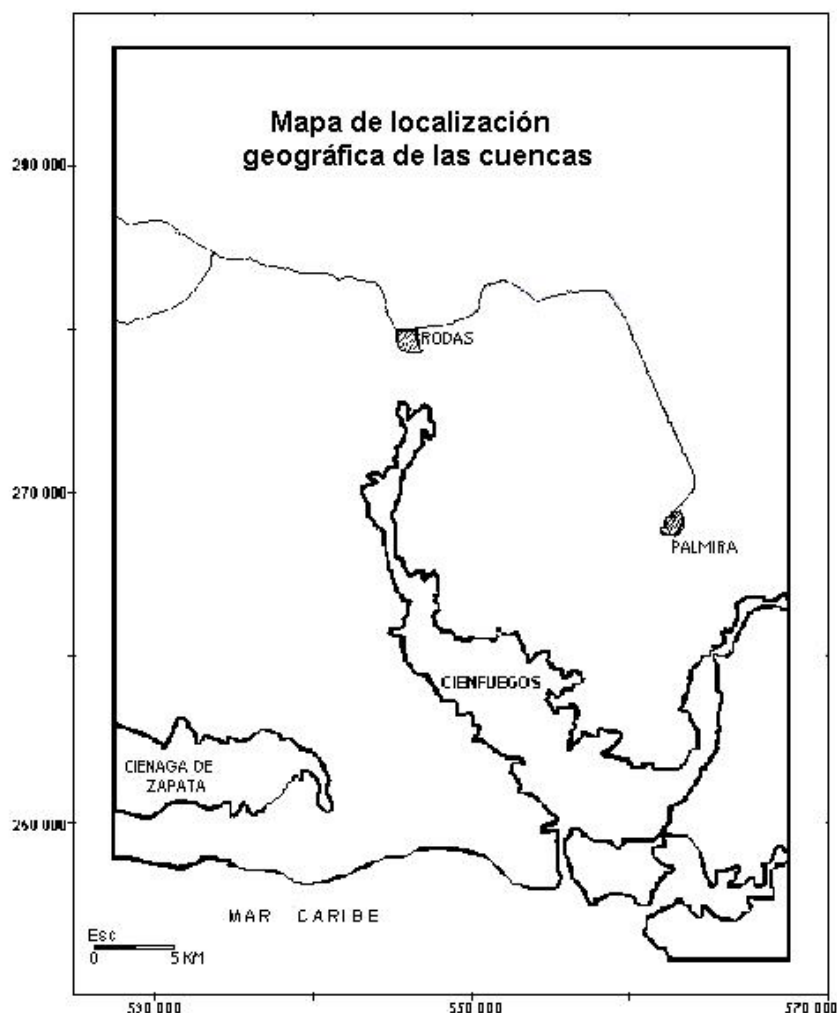


Fig. 1. Localización geográfica de las cuencas





## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de este trabajo se muestrearon 7 perfiles, se recogió un total de 46 muestras en los perfiles de ambas cuencas, además se tomaron 65 muestras de los complejos litológicos más representativos del área.

Para la interpretación geólogo – mineralógica se utilizaron como base cartográfica planchetas 1: 100 000 y 1: 50 000 de las provincias Cienfuegos, Villa Clara y Matanzas. Como base geológica se utilizó el Mapa Geológico de Cuba Central escala 1: 100 000 de D. García y otros (1997).

Se realizaron estudios petrográficos de 111 muestras, análisis químicos de 25 muestras, paleontología de 25 muestras y mineralogía de 3 muestras. Con esta información se elaboraron columnas litológicas por formaciones y esquemas de distribución de las facies para cada cuenca, estudiándose las variaciones faciales de las rocas tomando en cuenta las características faciales distintivas de las mismas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los complejos litológicos representativos de la cuenca Cienfuegos en el área de estudio, se corresponden con las formaciones: Cantabria, Vaquería, Saladito y Caunao (Fig.2).

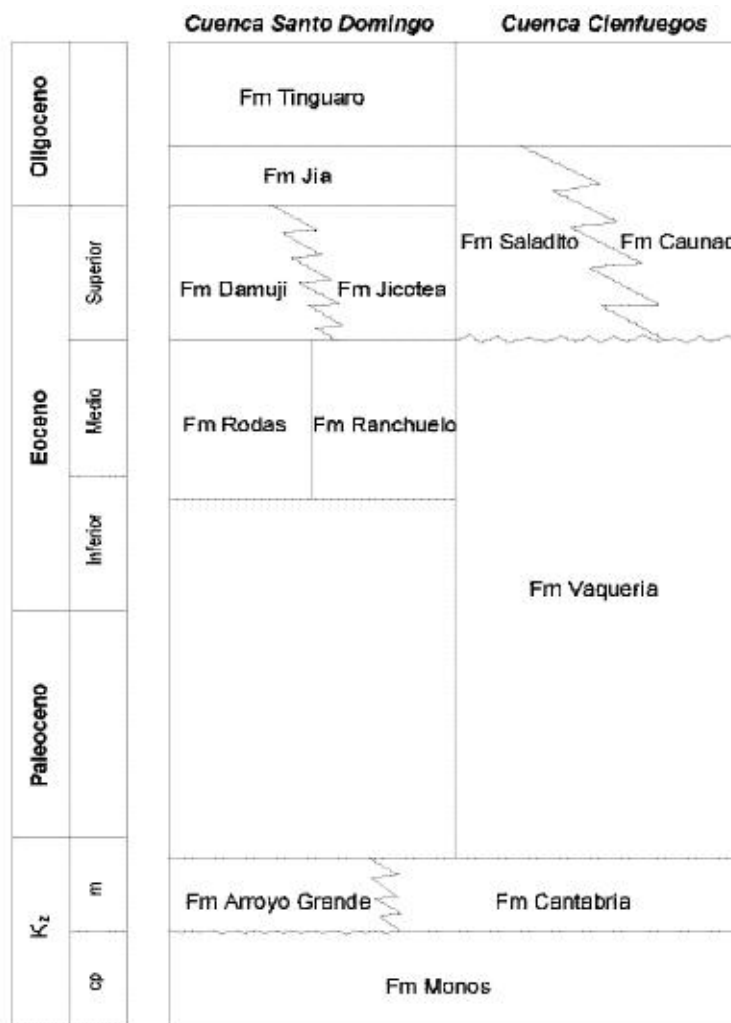


Fig. 2. Columna esquemática generalizada de la cuenca Cienfuegos y parte sur de la cuenca Santo Domingo.



-Fm. Cantabria (Kantchev, 1978). Edad  $K_2^m$ , macroscópicamente está constituida por calizas blancasaporcelanadas, a veces, organógenas y microscópicamente según las clasificaciones de Dunhan y Folk (1962), está representada por las variedades packstone - biomicrita y en algunos casos bioesparita, también se aprecian en menor proporción wackestone - biomicrita y bioesparita, así como grainstone - biomicrita.

-Fm. Vaquería (N. Popov, I. Kantchev, 1978). Edad  $K_2^m - P_2^2$ , macroscópicamente por calizas organógenas, microgranulares y arenosas de colores blanco a crema, corresponden microscópicamente a wackestone - biomicrita y biointramicrita y a grainstone - biomicrita y bioesparita.

-Fm. Saladito (N. Popov y I. Kantchev, 1978). Edad  $P_2^3 - P_3^1$ . Macroscópicamente se presentan como calizas organógenas, organodetríticas, de colores blanco a amarillo y microscópicamente están constituidas por grainstone - bioesparita, packstone - biomicrita y mudstone - biomicrita.

-Fm. Caunao (N. Popov y I. Kantchev, 1978). Edad  $P_2^3 - P_3^1$ . Está formada por areniscas, conglomerados, calizas organodetríticas de colores blanco a crema, microscópicamente en esta formación se determinaron areniscas y conglomerados arcóscicos y subarcóscicos, wackestone - biointramicrita y rudstone - bioesparita.

En la parte sur de la cuenca Santo Domingo se estudiaron los sedimentos de las siguientes formaciones: Arroyo Grande, Rodas, Damují, Jicotea, Jía y Tinguaro (Fig2).

-Fm. Arroyo Grande (S. Gil, E. Linares, 1985). Edad  $K_2^m$ . Macroscópicamente se observaron calizas biodetríticas, de colores blanco a crema. Microscópicamente formadas por packstone - biointraesparita.

-Fm. Ranchuelo (N. Popov, I. Kantchev, 1978). Edad  $P_2^{1-2}$ . Constituida macroscópicamente por calizas organógenas y calizas organodetríticas, de colores crema. Microscópicamente corresponden a packstone - biomicrita y biointramicrita.

-Fm. Rodas (N. Popov, I. Kantchev, 1978). Edad  $P_2^2$ . Macroscópicamente está compuesta por calizas, calizas arcillosas y silicitas, estas rocas presentan colores crema a blanco grisáceo, microscópicamente están formadas por packstone - biomicrita, grainstone - biomicrita, mudstone - biomicrita y por silicitas con radiolarios y espículas de esponjas.

-Fm. Damují (N. Popov, I. Kantchev, 1978). Edad  $P_2^3$ . Macroscópicamente representada por calizas organógenas y biodetríticas cavernosas, de colores blanco a crema, microscópicamente por packstone - biomicrita y biointraesparita.

-Fm. Jicotea (P. J. Bermúdez, 1950). Edad  $P_2^3$ . Constituida macroscópicamente por areniscas, conglomerados y calizas arenosas de color crema. Microscópicamente está formada por calcarenitas, conglomerados y packstone - biointramicrita.

-Fm. Jía (N. Popov, I. Kantchev, 1978). Edad  $P_3^1$ . Representada macroscópicamente por calizas organógenas y organodetríticas, areniscas y brecha - conglomerados, de colores blanco a crema. Microscópicamente dada por packstone - biomicrita y biointramicrita, calcarenitas y brechas calcáreas.

-Fm. Tinguaro (R. H. Palmer, 1945). Edad  $P_3^2$ . Rocas de color blanco grisáceo representadas por margas, calizas arcillosas, calizas detríticas y areniscas. Microscópicamente está constituida por wackestone - biomicrita y biointramicrita y por



arenisca tobácea. La arenisca tobácea se describe por primera vez dentro de las rocas de esta formación.

En ambas cuencas la variedad litológica predominante es packstone en sus variedades. biomicrita- bioesparita y biointramicrita (Folk, 1962).

Existen diferencias entre la fracción clástica arenosa de la Cuenca Cienfuegos que es de composición arcósica (Fm. Caunao) y la de la Cuenca Santo Domingo, donde en la fracción arenosa se incrementa el componente volcánico y los fragmentos carbonatados, (Fm. Jía).

## **Caracterización facial de las cuencas**

### **Descripción y distribución de las Facies**

En la región estudiada, se realizaron 7 perfiles a lo largo de carreteras y ríos que cortan las diferentes estructuras presentes, tres de estos perfiles se encuentran en la zona de la Cuenca Cienfuegos, otros tres en la Cuenca Santo Domingo y uno en el área de intercepción entre ambas cuencas, teniendo en cuenta que la litología es el parámetro mas fácil de observar en una facies cualquiera y de suma importancia en la diagnosis de los medios de depósito (Archie, A. 1992), este muestreo permitió estudiar la composición litológica, así como la distribución y variaciones de los diferentes tipos de facies presentes en el área.

Se determinaron 5 facies fundamentales en las rocas de ambas cuencas:

- A- Facies de calizas con microorganismos.
- B- Facies de calizas con microorganismos e intráclastos
- C- Facies de calizas pelágicas.
- D- Facies Clásticas. Esta se subdivide en tres subfacies:
  - DI - Subfacies arcósica.
  - DII- Subfacies tobácea.
  - DIII-Subfacies calcárea.
- E-Facies de Silicitas.

### **Características fundamentales de las facies.**

#### **A- Facies de calizas con microorganismos:**

Estas rocas macroscópicamente presentan colores de blanco a crema y crema grisáceo, son organógenas, microscópicamente se clasifican según Dunham y Folk (1962) en:

#### **Wackestone – biomicrita.**

Compuestas por microorganismos entre un 15 y un 25 % entre los que se aprecian foraminíferos bentónicos y algas, el cemento englobante está formado por fango calcáreo arcilloso de carácter basal (Fig. 3).

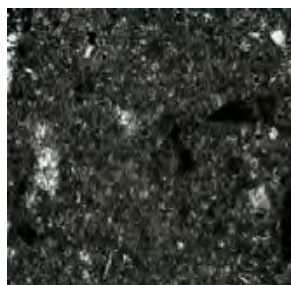


Fig. 3. Wackestone biomicrita. Aumento 50x



### **Wackestone – packstone – bioesparita.**

Están formadas por microorganismos entre un 30 y un 40 % predominando entre ellos los foraminíferos bentónicos y las algas. El cemento es intersticial y está dado por calcita recristalizada.

### **Packstone – biomicrita.**

Es una variedad litológica predominante en el área, está compuesta por microorganismos entre un 40 y un 50 % abundando entre ellos foraminíferos bentónicos grandes y pequeños, así como algas. El cemento en estas rocas tiene un carácter intersticial y está formado por fango calcáreo arcilloso (Fig. 4).



Fig. 4.. Packstone – Biomicrita. Aumento 25x

### **Grainstone – biomicrita.**

Presentan un contenido de microorganismos entre 60 y un 70 %, destacándose las algas y los foraminíferos bentónicos. El cemento aglutinante es de relleno de poros dado por fango calcáreo arcilloso (Fig. 5).



Fig. 5. Grainstone biomicrita. Aumento 25x.

### **B- Facies de calizas con microorganismos e intraclastos:**

Son rocas de colores blanco a crema, fosilíferas y frecuentemente poseen fragmentos arenosos de cuarzo, plagioclasa, mica, así como, de calizas preexistentes, microscópicamente se clasifican en:

### **Wackestone – biointramicrita.**

Presentan un contenido de microorganismos entre un 20 y un 30 %, destacándose entre ellos los foraminíferos bentónicos, algas, miliólidos y fragmentos de corales. Además hay una fracción clástica fina de cuarzo de tamaño de 0.3 mm. El cemento englobante es de carácter basal y de está formado por fango calcáreo.

### **Wackestone–packstone- biointraesparita.**



Están formadas por microorganismos entre un 30 y un 40 %, entre los que se aprecian foraminíferos bentónicos, fragmentos de algas y miliólidos, conjuntamente con estos se observan fragmentos de calizas preexistentes, así como una fracción clástica arenosa de cuarzo, cuarzo relacionado con mica blanca y mica blanca dispersa. El cemento es carbonatado recrystalizado intersticial.

#### **Packstone-biointramicrita**

Es la variedad litológica más abundante en las rocas del área, está formada por microorganismos entre un 40 y un 50 %, las algas, foraminíferos bentónicos grandes y a veces pequeños, ocasionalmente miliólidos y fragmentos de calizas preexistentes. El cemento englobante está dado por fango calcáreo arcilloso de carácter intersticial (Fig. 6).

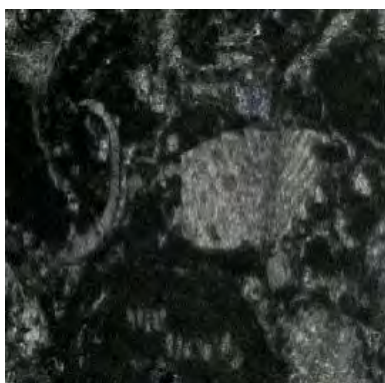


Fig. 6. Packstone biointramicrita. Aumento 25x

#### **Grainstone-biointramicrita**

Poseen un contenido de microorganismos de 60 a 70 %, destacándose entre ellos las algas, foraminíferos bentónicos pequeños, a veces grandes y miliólidos, además en ocasiones presentan fragmentos de calizas preexistentes y una fracción clástica de cuarzo. El cemento es escaso de relleno de poros y está formado por fango calcáreo arcilloso y otras veces es esparítico (Fig.7).

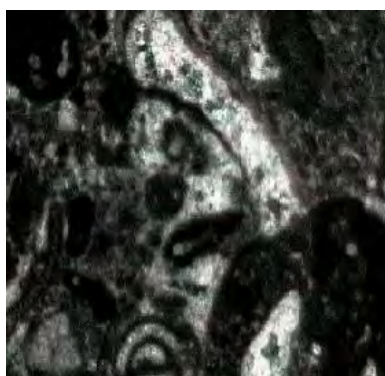


Fig. 7. Grainstone biointramicrita. Aumento 25x

#### **Grainstone packstone - bioesparita**

Presentan un contenido de microorganismos entre un 50 y un 60 %, dado por algas, con un cemento de carácter intersticial esparítico (Fig. 8).





Fig. 8. Grainstone packstone bioesparita. Aumento 50x

### **Rudstone-biointraesparita**

Están formadas por organismos entre 50 y 60 %, abundando entre ellos las algas y los corales, éstos tienen un tamaño superior a 2.5 mm, además se observa una escasa fracción clástica limolítica de cuarzo, fragmentos con textura gráfica, y biotita. El cemento está formado por carbonato recristalizado y es de carácter intersticial (Fig. 9).



Fig. 9. Rudstone biointraesparita. Aumento 25x

### **C - Facies de calizas pelágicas:**

Rocas de color crema grisáceo a blanco amarillento, a veces margosas y bandeadas. Microscópicamente según la clasificación de Dunhan para las calizas de 1962, se corresponde con la variedad.

### **Mudstone-biomicrita**

Compuesta por escasos microorganismos en menos de un 10 %, entre los que se señalan foramíferos planctónicos y radiolarios. El cemento está formado por fango calcáreo arcilloso de carácter basal (Fig. 10).

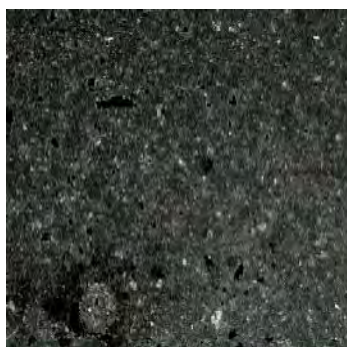


Fig. 10. Mudstone biomicrita. Aumento 25x





## D – Facies clásticas:

Estas rocas presentan carácter brechoso, conglomerático y arenoso, tienen un color crema amarillento a veces grisáceo, y para su estudio en las cuencas las subdividimos en 3 subfacies:

1. DI- Subfacies arcósica.
2. DII- Subfacies tobácea.
3. DIII- Subfacies calcárea.

### DI- Subfacies arcósica:

#### Subarcosa:

Son rocas que se caracterizan por un gran contenido de cuarzo, plagioclasa, fragmentos de granitoides con texturas gráficas, feldespato de potasio, moscovita, anfíbol, fragmentos de rocas volcánicas y microorganismos. El cemento englobante es carbonatado basal a intersticial.

En las rocas de esta subfacies encontramos areniscas y conglomerados. Las areniscas presentan granos subredondeados con un tamaño de 0.2 a 0.5 mm y los conglomerados tienen clastos subredondeados mayores de 5 mm, figuras 11 y 12.



Fig. 11. Subarcosa.  
Aumento 50x



Fig. 12. Subarcosa, cristales de cuarzo y mica.  
Aumento 100x

### DII- Subfacies tobácea:

**Arenisca tobácea:** Formada por granos de cuarzo y plagioclasa, así como por abundantes litoclastos de rocas volcánicas de diferente composición con contornos difusos englobados en un cemento basal, dado por pequeños granos silíceos, además hay mineral metálico disperso e impregnaciones de óxidos e hidróxidos de hierro.

### DIII – Subfacies calcárea:

#### Conglomerado calcáreo:

Rocas de color crema, con una granulometría mayor de 2 mm, que alternan en bandas gruesas y finas, compuestos por fragmentos subredondeados de calizas organógenas preexistentes, el cemento aglutinante es calcáreo intersticial. Los fragmentos presentan microorganismos como algas y foraminíferos bentónicos grandes.



### E – Facies de silicitas:

**Silicitas:** stas rocas están formadas por abundantes microorganismos silicificados entre ellos radiolarios y espículas de esponjas, englobados en un cemento silíceo arcilloso (Fig. 13).

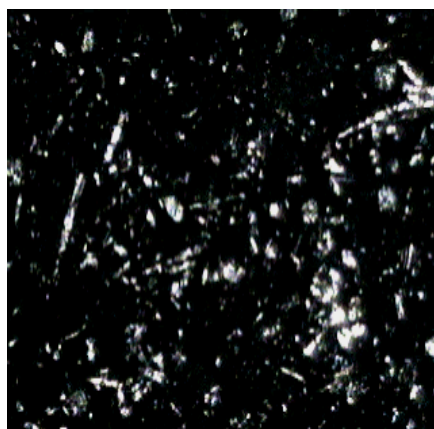


Fig. 13. Silicita. Aumento 25x.

### Cuenca Cienfuegos

La facies A se encuentra distribuida en las partes inferiores de los perfiles 2, 3 y 4 correspondientes a esta cuenca, analizando los mismos de oeste a este.

La facies B se observa en el perfil 3, intervalo  $P_1^1 - P_2^2$  y en su parte superior alterna con la facies C y DI. En el perfil 4 esta facies se aprecia sobre la facies A hasta el  $P_2^3$ . La facies C se observa en el perfil 3 alternando con la facies B durante el  $P_2^3$ .

La subfacies DI está distribuida en las partes superiores de los perfiles 2, 3 y 4 en el intervalo  $P_2^3 - P_3^1$ . La subfacies DIII está presente en la base del perfil 2, correspondiente a la Fm. Cantabria alternando con la facies B.

El perfil 1 se realizó en una zona intermedia entre ambas cuencas donde solamente se observó la facies A, correspondiéndose ésta con la Fm. Cantabria, esta zona después del  $K_2^m$ , permaneció emergida actuando como una barrera entre la Cuenca Cienfuegos y la Cuenca Santo Domingo.

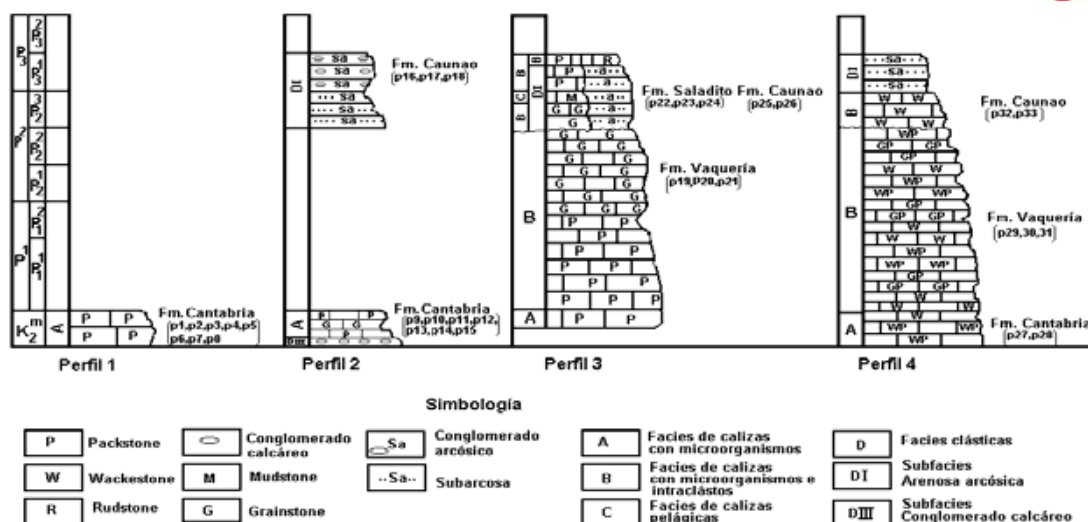


Fig 14. Esquema de distribución de las facies según 4 perfiles tomados de oeste a este, cuenca Cienfuegos.

### Interpretación Depositional

En la cuenca Cienfuegos según el estudio realizado se pudieron diferenciar 4 facies litológicas, con variaciones faciales verticales y laterales. Fig. ( 14 ).

La facies A representada por calizas con microorganismos, se observa en la base de todos los perfiles identificándose con las formaciones Cantabria y Vaquería, apreciándose una continuidad lateral de la misma durante el  $K_2^m$ . Esta facies es característica de mares neríticos someros, cálidos, salobres y moderadamente energéticos, con una fauna predominante de algas y foraminíferos bentónicos grandes. En la base del perfil 2 se intercala con la facies DIII, dada por conglomerados calcáreos de talud peniarrecifal.

La facies B de calizas con microorganismos e intraclatos, representa el mayor volumen de rocas en los perfiles, observándose continuidad lateral de la misma en los perfiles 3 y 4, correspondiéndose con las formaciones Vaquería, Caunao y Saladito. Las rocas de esta facies son características de mares neríticos someros, cálidos y esporádicamente energéticos como se evidencia por la presencia de intraclastos que por su bajo grado de redondeamiento nos indican distancias de resedimentación cortas. En esta facies B se aprecia un aporte de sedimentos terrígenos arenosos a intervalos, de composición arcósica, relacionados con la erosión de áreas emergidas en zonas aledañas a la cuenca.

Las facies C, de calizas pelágicas, se aprecia intercalada con rocas de la facies B, ambas correspondientes a la Fm. Saladito, lo cual puede observarse en el perfil 3 Fig ( 14 ), indicando una pequeña subsidencia de la cuenca en el  $P_2^3$ , durante la cual se formaron calizas pelágicas ( Mudstone), seguida de una regresión que dio lugar nuevamente a la formación de las rocas de la facies B.

La facies DI representada por areniscas y conglomerados arcósicos, presenta una continuidad lateral en los perfiles 2, 3 y 4, durante el intervalo  $P_2^3 - P_3^1$  y está relacionada con la Fm. Caunao, es evidente que la zona erosionada que aportaba sedimentos a la cuenca, de composición granítica se elevó durante este período de



tiempo, la fracción clástica presenta bajo grado de redondeamiento lo que sugiere su cercanía.

Estas rocas de la facies DI presentan pequeños aportes de detritos volcánicos y metamórficos relacionados con la erosión de antiguas rocas de esos orígenes.

### Cuenca Santo Domingo.

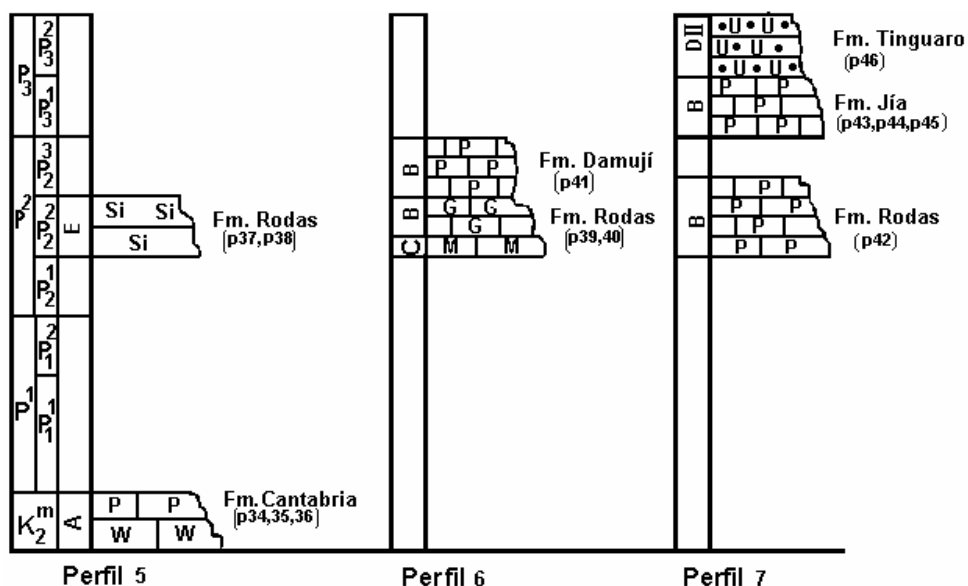
Las rocas de la facies A se observan solamente en la base del perfil 5, relacionadas con la Fm. Cantabria.

La facies B tiene continuidad lateral en los perfiles 6 y 7 Fig. (15), en el perfil 6, se asocia con las Fms. Rodas y Damují en el intervalo  $P_2^2 - P_2^3$ , en el perfil 7 está vinculada a las Fms. Rodas y Jía durante el  $P_2^2$  y hasta el  $P_3^1$ .

La facies C está intercalada con la facies B en el perfil 6 Fig (15)

La facies DII, está distribuida en la parte superior del perfil 6, correspondiéndose con la Fm. Tinguaro.

La facies E se puede apreciar en la parte superior del perfil 5, correspondiéndose con la Fm. Rodas.



#### Simbología

P	Packstone	M	Mudstone	A	Facies de calizas con microorganismos	D	Facies clásticas
W	Wackestone	G	Grainstone	B	Facies de calizas con microorganismos e intraclastos	DII	Subfacies tobácea
• U • U	Arenisca tobácea	Si	Silicitas	C	Facies de calizas pelágicas	E	Facies de silicitas

Fig. 15. Esquema de distribución de las facies según 3 perfiles tomados de oeste a este.  
Cuenca Santo Domingo.



## Interpretación deposicional

La facies A en esta cuenca está limitada a la base del perfil 5, relacionándose con un ambiente nerítico de mares someros, cálidos, moderadamente energéticos, donde abundan las algas y los foraminíferos bentónicos.

La facies B está bien distribuida, en ella predominó también un ambiente de mares neríticos someros, cálidos y energéticos ocasionalmente, evidenciado por la presencia de intraclastos subangulosos resedimentados a cortas distancias, los microorganismos más abundantes son algas, miliólidos y foraminíferos bentónicos grandes.

Hacia el oeste de la cuenca ocurrieron períodos de subsidencias formándose calizas pelágicas (mudstone), seguidas de una regresión que dio lugar nuevamente a la formación de las rocas de las facies B, como se observa en el perfil 6 Fig(15), ambos eventos se corresponden con la Fm. Rodas durante el  $P_2^2$ .

La subsidencia de la cuenca se enmarca hacia el oeste de la zona durante el  $P_2^2$ , lo cual se evidencia por la presencia de silicitas en la Fm. Rodas Fig (15 ) perfil 5, que constituye la facies E.

La facies DII esta representada por areniscas tobáceas, observada en una muestra de la Fm. Tinguaro perfil 7 Fig (15 ), descrita por primera vez en las rocas de esta formación evidenciando la cercanía de una zona volcánica emergida que aportó sedimentos a esta cuenca durante el  $P_2^3$ .

## CONCLUSIONES

1. En las rocas de estas cuencas se pudieron diferenciar 5 facies litológicas, una de ellas con tres subfacies:  
D- Facies de calizas con microorganismos.  
E- Facies de calizas con microorganismos e intraclastos  
F- Facies de calizas pelágicas.  
D- Facies Clásticas. Esta se subdivide en tres subfacies:  
DI - Subfacies arcósica.  
DII- Subfacies tobácea.  
DIII-Subfacies calcárea.  
E-Facies de Silicitas.
2. Ambas cuencas se originaron en un ambiente de mares neríticos, someros, cálidos, salobres y ocasionalmente energéticos como se evidencia por la presencia de intraclastos que por su bajo grado de redondeamiento indican distancias de resedimentación cortas. Los microorganismos más abundantes en estas rocas son: algas, miliólidos y foraminíferos bentónicos.
4. En las dos cuencas, durante el Eoceno se produjeron variaciones faciales verticales y laterales que se corresponden con movimientos transgresivos regresivos.
5. En la cuenca Cienfuegos, se observa una subfacies arcósica dada por conglomerados y areniscas correspondientes a la Fm Caunao con sedimentos de composición granítica provenientes de la erosión de una zona elevada al sur y sureste de la cuenca.
6. En la Cuenca Santo Domingo se aprecia una subfacies de arenisca tobácea descrita por primera vez en las rocas de la Fm Tinguaro. De estos sedimentos se



infiere la cercanía de una zona de rocas volcánicas emergidas que se erosionó durante el P<sub>2</sub><sup>3</sup>.

7. Hacia el oeste de la cuenca Santo Domingo, se aprecia una subsidencia, evidenciada por la presencia de mudstone - biomicrita y por una Facies de silicitas en la Fm Rodas.
8. En ambas cuencas, la variedad litológica predominante es el packstone (Dunham, 1962), en sus variedades biomicrita, biointramicrita y bioesparita, de acuerdo con la clasificación de (Folk, 1962).

## BIBLIOGRAFIA

- Archie, A., 1992. Sedimentología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. Vol.1(2): 43 – 44.
- Dilla, M., L. García, 1984. Estratigrafía y Sedimentogénesis de los depósitos de las cuencas superpuestas de Las Villas. Serie Geológica. Cuba. 3: 101 – 154.
- Dunham, R. J., 1962. Classification of Carbonate Rocks according to depositional texture. Ass. Petr. Geol. Mem. I: 108 – 121.
- Folk, R., 1962. Spectral subdivision of limestone types. Am. Petro. Geol. Bull, 43: 1 - 39.
- García, D., R. Delgado, G. Millán, L. Díaz de Villalvilla, K. Sukar, L. Bernal, G. Rojas, C. Pérez, C. Díaz, G. Furrázola, I. García, I. Delgado, M. Pardo, V. Suárez, E. Duany, 1998. Generalización y Actualización de la región de Cuba Central, prov. S. Espíritu, Villa Clara, Cienfuegos a escala 1 : 100 000. I.G.P. Cuba.
- Kantchev, I. Boyonov, N. Popov, R. Cabrera, A. Goranov, N. Iolkicev, M. Kanazirski, M. Stancheva, 1978. Resultados de las investigaciones geológicas y levantamiento geológico a escala 1 : 250 000 durante el período 1969 – 1975. Empresa Geológica de Santa Clara . Cuba. 1515 p.
- Wassal, H, 1954. Geology of Santa Clara Cabaiguán área.





## ASPECTOS GEOQUÍMICOS EN LOS SEDIMENTOS DE LA CUENCA CIENTFUEGOS Y LA PARTE SUR DE LA CUENCA SANTO DOMINGO

**Ines Milia, Iliana García**

*Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica, Vía Blanca y línea del ferrocarril s/n CP 11000. Ciudad de La Habana. Cuba. e-mail: ines@lacemi.cu*

### RESUMEN

Se abordan aspectos geoquímicos de la cuenca Cienfuegos y la parte sur de la cuenca Santo Domingo incidentes en la comprensión cabal de los procesos formadores de los depósitos y en la posible utilización de sus materiales. Ambas cuencas tienen semejante mineralogía global consistente en caliza fundamentalmente biogénica, acompañada por sedimentos detríticos en los cuales predominan el cuarzo y los fragmentos de rocas ácidas. Desde el punto de vista químico, por sus contenidos altos de  $\text{CaCO}_3$  y bajos de Mg y álcalis, gran parte de las muestras analizadas resultan aceptables para materiales de construcción y fabricación de cal.

Componentes detríticos no calcáreos se muestrearon en las formaciones Caunao (cuenca Cienfuegos) y Jia (cuenca Santo Domingo), estos guardan semejanza por la presencia de fragmentos de rocas ácidas y tienen diferencias geoquímicas en cuanto a los óxidos que permiten inferir la procedencia de los sedimentos. Aunque se puede considerar una procedencia mixta, en la formación Caunao predomina la geoquímica propia del ambiente de margen pasivo y en la formación Jia la de arco volcánico evolucionado. Los contenidos químicos sugieren también que los sedimentos terrígenos de la formación Caunao son más maduros que los de la formación Jia.

### ABSTRACT

Geochemical aspects that affect the best understanding of the forming deposits processes and the possible use of the materials are treated in the Cienfuegos basin and the southern part of Santo Domingo basin. Both basins have similar bulk mineralogy, consisting of a basically biogenic limestone and clastic sediments in which quartz and acid rock fragments predominate. From a chemical point of view, according to their high  $\text{Ca CO}_3$ , low Mg and alkalis contents, a great part of the analyzed samples are suitable for construction materials.

Detrital no calcareous components were collected in the formation Caunao (Cienfuegos basin) and Jia (Santo Domingo basin), they are similar in their acid rock fragments contents, but they are geochemically different if, oxides allowing to infer the source of sediments, are taken into account. Although it is possible to consider a mixed provenance, in Caunao formation the geochemical features predominates, typical for an passive margin environment and in Jia formation those features, corresponding to an evolved island arc environment. The chemical contents also suggest that sediments from Caunao formation are chemically more mature than Jia formation ones.

### INTRODUCCIÓN

En el contexto del estudio de las cuencas superpuestas de Cuba central, se examinaron características geoquímicas de los sedimentos carbonatados y terrígenos presentes en la cuenca Cienfuegos y la parte sur de la cuenca Santo Domingo, con el fin de complementar los resultados petrográficos e inferir, desde una perspectiva geoquímica, la posible procedencia de los detritos no calcáreos.

La cuenca Cienfuegos bordea la bahía del mismo nombre, su corte estratigráfico se extiende desde el Cretácico Superior hasta la base del Oligoceno. Comprende las formaciones Cantabria, Vaquería, Saladito y Caunao.

La cuenca Santo Domingo ocupa las porciones occidentales de la parte central de la antigua provincia de Las Villas y se extiende por el oeste hasta la provincia de Matanzas. Su corte estratigráfico va del Cretácico superior al Oligoceno. Dentro del área de este estudio se encuentran las formaciones Monos, Arroyo Grande, Cantabria, Rodas, Ranchuelo, Jicotea, Damují, Jía y Tinguaro (D. García et al., 1998).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron análisis de elementos mayoritarios a 25 muestras representativas de las formaciones presentes en el área investigada, en el caso de la formación Tinguaro se tomó una muestra atípica. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio Central de Minerales Isaac del Corral, mediante ICP, absorción atómica y métodos tradicionales de análisis de silicatos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis químicos se encuentran en la tabla I. Se observa que los contenidos de CaO son altos. Tomando en cuenta las determinaciones orientativas de  $\text{CO}_2$ , se obtienen contenidos aproximados de  $\text{CaCO}_3$  elevados en la gran mayoría de las muestras:

Tabla II. Muestras con mas del 90% de  $\text{CaCO}_3$

Muestra	% Ca $\text{CO}_3$	Formación.
7	97.35	Vaquería
13	97.85	Vaquería
14	98.92	Vaquería
9	98.17	Saladito
15	98.20	Saladito
17	98.41	Saladito
27	97.31	Cantabria
31	93.25	Cantabria
47	96.61	Cantabria
49	95.90	Cantabria
4	91.70	Caunao
36	99.00	Rodas
57	96.89	Arroyo Grande

El Mg se presenta con valores inferiores al 1%, salvo en una muestra y se incrementa ligeramente en los ejemplares que tienen mayor componente detrítico, lo cual indica poca sustitución de Ca por Mg en la calcita y algún aporte de este elemento a través de los minerales procedentes del material terrígeno.

El Mn está en el orden de las centésimas de %, por tanto es escasa la sustitución de Ca por este elemento en la calcita.



El Fe, en la mayoría de las muestras está en las décimas de %, llega a más del 1% cuando se incrementa el componente lítico o cuando existe mineral metálico u óxidos e hidróxidos dispersos y, en pocos casos, su incremento es atribuible a sustitución del Ca en el carbonato. Los contenidos de  $K_2O$  son bajos en general y los de  $Na_2O$  salvo en una muestra son muy bajos, frecuentemente, por debajo del límite de detección del método de análisis. El P, está en todos los casos, en el orden de las centésimas de % o por debajo del límite de detección.

Estos resultados indican que los sedimentos calcáreos formados en ambas cuencas, principalmente por vía biogénica, constituyen calizas de notable pureza, de otros factores como el tamaño del grano dependerá su posible utilización en la práctica.

Entre las especificaciones señaladas para usos del  $CaCO_3$  (Harben, 1999) estas calizas cumplen, desde el punto de vista químico, las referentes a:

Construcciones expuestas a la intemperie:

- 85-95% de  $CaCO_3$
- Contenido máximo de MgO: 5%

Fabricación de cal de uso agrícola:

- 85-90% de  $CaCO_3$

Fabricación de cal hidratada:

- 62-85% de  $CaCO_3$

Algunas calizas de estas cuencas se utilizan ya como portadores para cemento y como piedras decorativas. (Batista et al., 2000)

Al estudiar los sedimentos de una cuenca es necesario considerar, además de los materiales generados en ella, los componentes detríticos aportados por otras fuentes.

Se ha señalado que la composición de los sedimentos detríticos está controlada, en primera instancia por la composición de las rocas que sirvieron de fuente. Aunque la diagénesis y el intemperismo pueden alterar el quimismo original, los cambios están relacionados con el ambiente tectónico y la composición global sigue reflejando dicho ambiente (Asiedu, 2000).

Según autores las aproximaciones geoquímicas para conocer la procedencia de los sedimentos, complementan las inferidas de la petrografía, mineralogía y sedimentología, y presentan ventajas como la aplicabilidad simultánea a distintas granulometrías (McLennan, 1985, McLennan et al., 1993, en Mata y López Aguayo, 2000).

Acerca de la variación de la composición con la granulometría hay opiniones diferentes. Algunos autores consideran que la composición varía según el tamaño del grano, mientras otros afirman que la diferencia del tamaño de partícula no afecta grandemente el resultado final (Sánchez Zavala y Centeno, 2003)

Entre las muestras comprendidas en este trabajo sólo presentan cierta abundancia de componente detrítico no calcáreo algunos ejemplares de las formaciones Caunao y Jía y una muestra atípica de la Fm. Tinguaro, sus principales características se resumen en la Tabla III.



Tabla III. Sedimentos detríticos no calcáreos.

Mtra	Formación	Cuenca	Roca	Textura	Mineralogía
1	Caunao	Cienfuegos	Subarcosa	Arena media a fina	Cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, moscovita, epidota, anfíbol, microorganismo, cemento calcáreo.
10	Caunao	Cienfuegos	Arcosa	Clástica arenosa	Cuarzo, feldespato potásico, mica, plagioclasa ácida, fragmentos de rocas volcánicas, cemento calcáreo.
63	Caunao	Cienfuegos	Subarcosa	Clástica arenosa	Cuarzo, fragmentos de granitoides con cuarzo, feldespato potásico y moscovita, cemento calcáreo.
64	Caunao	Cienfuegos	Conglomerado fino	Clástica gravosa	Fragmentos de areniscas con cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, moscovita, microorganismos, cemento calcáreo.
65	Caunao	Cienfuegos	Conglomerado fino	Clástica gravosa	Cuarzo, plagioclasa, poco feldespato potásico.
20	Jía	Santo Domingo	Brecha	Brechosa	Calizas preexistentes con organismos, fragmentos de rocas graníticas, cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, anfíbol, epidota, fragmentos de rocas volcánicas, sericita, cemento calcáreo.
21	Jía	Santo Domingo	Calcarenita	Arena fina	Microorganismos, cuarzo, plagioclasa, cemento calcáreo arcilloso.
23	Jía	Santo Domingo	Calcarenita	Arenosa	Microorganismos, calizas preexistentes, cuarzo, plagioclasa, moscovita, biotita, metálico disperso, cemento calcáreo
25	Tingüaro	Santo Domingo	Arenisca Tobácea	Arenosa fina	Cuarzo, plagioclasa en matriz silícica, litoclastos de rocas volcánicas, metálico disperso.

Se realizó el conteo bajo microscopio de los diferentes tipos de granos y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla IV. Conteo de los tipos de granos

Muestra	Formación	% Cuarzo	% Lítico	% Feldespato
1	Caunao	40 – 50	15	10
10	Caunao	10 – 15	15 – 25	5 – 10
63	Caunao	15 – 20	20 – 25	5 – 10
64	Caunao	15 - 20	10 - 15	2 – 5
65	Caunao	20 – 25	15 – 20	2 - 5
20	Jía	15 – 20	20 – 25	5. – 7
21	Jía	15 – 20	~ 10	~ 7
23	Jía	15 – 20	~ 10	5 - 7
25	Tingüaro	60	~ 20	10 - 15

El cuarzo y los fragmentos líticos se encuentran en proporciones semejantes con ligero incremento del cuarzo en la formación Caonao y los feldespatos son menos frecuentes. Se tiene en cuenta que la muestra de Tinguaro es atípica para esa formación.

Las muestras con componente detrítico aquí referidas con excepción de la 25 (Fm. Tinguaro) tienen abundante contenido calcáreo presente como cemento, por lo cual para obtener resultados concernientes sólo a los componentes detríticos se recalcularon los análisis al 100 % sin CaO y PPI, con estos valores se abordó el análisis de procedencia de los sedimentos en su aspecto geoquímico. Los valores recalculados aparecen en la Tabla.V -. No se recalculó la Muestra 25.

Tabla V. Recálculo de los análisis de los principales elementos mayoritarios.

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe(t)como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ti <sub>2</sub> O	Mg O	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O
<b>Formación Caunao</b>								
10	79.6	12.8	3.6	0.3	0.7	0.8	2.1	2.63
64	82.7	11.1	3.0	0.3	0.6	<0.01	2.0	>>1
65	78.3	13.7	5.0	0.1	0.9	<0.01	1.8	>>1
1	75.8	12.4	4.8	0.6	1.4	2.3	2.7	1.17
63	75.9	11.8	2.8	0.2	0.1	0.9	1.40	3.44
Promedio	78.46	12.36	3.8	0.3	0.74		2.00	
<b>Formación Já</b>								
20	72.2	15.5	4.9	0.6	2.6	1.9	2.1	1.11
21	68.8	17.1	5.9	0.6	2.8	2.3	2.6	1.13
23	68.3	15.8	5.7	1.3	4.0	2.1	2.6	1.23
Promedio	69.67	16.3	5.50	0.83	3.13	2.1	2.43	

Bathia (1983) estableció rangos de concentraciones de elementos mayores y trazas en diferentes ambientes tectónicos:

Arco de islas oceánicas (AIO), arco de islas continental (AIC), margen continental activo (MCA), margen continental pasivo (MCP).

	<b>AIO</b>	<b>AIC</b>	<b>MCA</b>	<b>MCP</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>t</sup> + MgO	8 – 14 %	5 – 8%	2 – 5%	0.5 – 3.5%
TiO <sub>2</sub>	0.8 – 1.4%	0.5 – 0.7%	0.25 – 0.45%	0.2 – 0.5 %
K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O	0.2 – 0.4 %	0.4 – 0.8%	0.65 – 1.45%	1.2 – 2%

Estas relaciones y, en general, los diagramas de discriminación que usan elementos mayoritarios, tienen como inconvenientes que las diferencias entre los distintos campos son mínimas y pueden solaparse o mal interpretarse dependiendo del margen de error de los análisis y además la concentración de los elementos se ve afectada por distintos procesos, dada su movilidad a baja temperatura, sin embargo, las relaciones entre óxidos son poco afectadas por los procesos posdeposicionales y la consideración de varios criterios permite aumentar la validez de la aproximación geoquímica.

En línea general, los contenidos de Fe (total) + MgO y de  $\text{TiO}_2$  son más elevados en los ambientes de arcos insulares que en los de márgenes, la relación  $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$ , por el contrario, es más baja en los ambientes de arcos y se incrementa en los ambientes de márgenes.

En este trabajo se aplicaron las relaciones entre elementos mayores. Los resultados se recogen en la Tabla VI.

Tabla VI. Contenido de Fe (total),  $\text{TiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$

Muestra	$\text{TiO}_2$	Fe (total) + MgO	$\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$
<b>Formación Caunao</b>			
1	0.6 AIC	6.2 AIC	1.17 MCA
10	0.3 MCP	4.3 MCA	2.63 MCP
63	0.2 MCP	2.90 MCA, MCP	3.44 MCP
64	0.3 MCP	3.6 MCA	< 1 MCP
65	0.1 MCP	5.9 MCA	< 1 MCP
<b>Formación Jía</b>			
20	0.6 AIC	7.5 AIC	1.11 MCA
21	0.6 AIC	8.7 AIO	1.13 MCA
23	1.3 AIO	9.7 AIO	1.23 MCA

Zavala y Centeno (2003) mencionan que el ambiente de margen continental pasivo presenta variaciones en la concentración de las relaciones entre óxidos, pero por lo regular muestra enriquecimiento en  $\text{SiO}_2$ , empobrecimiento en  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{TiO}_2$  y relación  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  muy superior a 1.

Roser y Korsch (1986) afirman que la categoría márgenes activos incluye materiales derivados de arcos magmáticos continentales y de arcos de islas evolucionados.

Estos autores proponen diagramas de discriminación entre los ambientes tectónicos de arco de islas oceánicas (ARC), margen continental activo (ACM) y margen continental pasivo (PM) sobre la base de la relación  $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$ . Estos elementos están controlados por los minerales constituyentes principales y la relación  $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$  no resulta grandemente perturbada por los procesos posdeposicionales.

En el gráfico ajustado para 100 % libre de PPI y CaO (Fig. 1), se sitúan los puntos correspondientes a las muestras cuya relación  $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$  fue evaluable. En la Fm. Caunao el contenido  $\text{Na}_2\text{O}$  en las muestras 64 y 65 está por debajo del límite de detección del método de análisis, por tanto, la relación  $\text{K}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O}$  daría un número grande que se situaría en el campo PM.



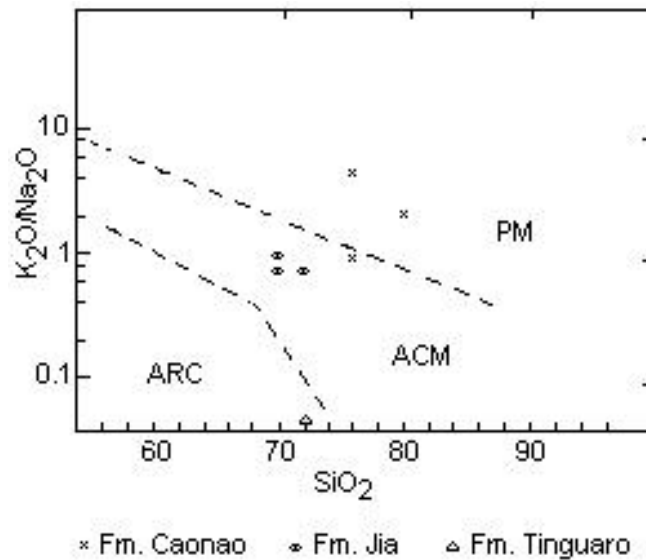


Figura 1. Diagrama de discriminación de ambientes tectónicos de Roser y Korsch (1986).

Se observa correspondencia entre estos resultados y los obtenidos utilizando los elementos mayoritarios propuestos por Bathia.

En este estudio, se tuvieron en cuenta los criterios de los distintos autores, sus aspectos coincidentes y sus inconvenientes. De la aplicación a los sedimentos detríticos muestreados, se llegó a las siguientes consideraciones: en los sedimentos de la formación Caonao (Cuenca Cienfuegos) son más elevados el contenido de sílice y la relación  $K_2O / Na_2O$  que resulta, salvo en una muestra (con valor 1), muy superior a la unidad, y es menor el contenido de  $TiO_2$  lo cual se asocia con un ambiente de margen pasivo. Pudiera deberse a que fragmentos derivados del terreno Escambray intervinieran en la formación de los detritos de esta cuenca.

En las muestras de la Fm. Jía (Cuenca Santo Domingo) son mayores los contenidos de Al,  $TiO_2$ , y Fe (total) + MgO y menor la relación  $K_2O / Na_2O$  que se mantiene alrededor de 1.

Si se toman en cuenta los contenidos de Fet +MgO, la tendencia geoquímica va hacia arcos volcánicos en ambas formaciones, pero si se considera el conjunto de criterios, predomina la tendencia de margen pasivo para la formación Caonao y la de arco volcánico evolucionado para la formación Jía.

Aunque puede considerarse una procedencia mixta en los detritos de la formación Caonao predomina la tendencia a la geoquímica propia de los márgenes pasivos, posible consecuencia de la presencia de fragmentos del terreno Escambray. En los detritos de la formación Jía la geoquímica predominante es propia de un arco volcánico evolucionado.

Los promedios de  $SiO_2$  y Fet + MgO son respectivamente, para la formación Caonao 78.46% y 4.58% y para la formación Jía 69.67% y 8.63%. La relación  $Al_2O_3/SiO_2$  es para Caonao 8.16 y para Jía 0.23. Estos resultados mas los ya mencionados de la relación  $K_2O/Na_2O$  indican mayor madurez, desde el punto de vista geoquímico, para los sedimentos de la formación Caonao



## CONCLUSIONES

La mineralogía global es semejante en ambas cuencas, dentro de ellas se generó una caliza fundamentalmente biogénica, de bajo Mg, acompañada por sedimentos detríticos en los cuales predominan el cuarzo y los fragmentos de rocas intrusivas y volcánicas de carácter ácido, estos últimos aportan cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y micas.

Desde el punto de vista del quimismo, por sus bajos contenidos de Mg y álcalis, gran parte de las muestras analizadas resultan aceptables para la fabricación de materiales destinados a portadores de cemento, construcciones expuestas a la intemperie y cal de uso agrícola.

De los contenidos de óxidos mayoritarios y las relaciones entre ellos se obtuvo información aprovechable respecto a la procedencia de los sedimentos detríticos no calcáreos. Se tomaron en cuenta varios criterios, entre estos, los más atendibles son la relación  $K_2O/Na_2O$  que no es afectada por los procesos posdeposicionales y el contenido de  $TiO_2$  por tratarse de un elemento muy poco móvil. Aunque se puede considerar una procedencia mixta, en la formación Caonao predomina la geoquímica propia del ambiente de margen pasivo y en la formación Jía la de arco volcánico evolucionado.

Los contenidos químicos sugieren que los sedimentos terrígenos de la formación Caonao son más maduros que los de la formación Jía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asiedu, D. K., 2000. Geochemistry of Lower Cretaceous Sediments, Inner Zone of S. W. Japan: Constraints on provenance and tectonic environment. *Geochemical Journal*, 34: 155 – 173.
- Batista, R.; D. Sosa, E. Rodríguez, M. García Saborit, J. Martínez, J. L. Torres Zafra, V. González, D. González, F. Bravo, I. Altarriba, R. Lavandero, R. Rivada., 2000. Base de Datos Infoyac. I. G. P.
- Bhatia, M. R., 1983. Plate tectonic and geochemical composition of sandstone. *Journal of Geology*, 91: 611 - 627.
- García, D., R. Delgado, G. Millán, L. Díaz de Villalvilla, K. Sukar, L. Bernal, G. Rojas, C. Pérez, C. Díaz, G. Furrázola, I. García, I. Delgado, M. Pardo, V. Suárez, E. Duany., 1998. Generalización y Actualización de la región de Cuba Central, prov. S. Spiritus, Villa Clara, Cienfuegos a escala 1 : 100 000; I.G.P.
- Harben, P. W. 1999. The Industrial Minerals Handy Book. 3ª ed. London: Industrial Minerals Information Ltd: 43-48
- Mata, M. P y F. López Aguayo., 2000. Estudio geoquímico de elementos mayoritarios, trazas y REE en las facies Weald de la cuenca de Cameros: *Boletín de la sociedad Española de Mineralogía*, 23: 89-106.
- Roser, B. P., Korsch, R. J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone – mudstone suites using  $SiO_2$  content and  $K_2O / Na_2O$  ratio. *Journal Geology*, 94: 635 – 650.
- Sánchez Zavala, J. L., Centeno, E., 2003. Técnicas y Aplicaciones del Estudio de los sedimentos Terrígenos de grano fino: Procedencia y Tectónica: [http // geología.lgeolcu.unam.mx/academia/Temas / Procedencia / html](http://geología.lgeolcu.unam.mx/academia/Temas/Procedencia/html) .



Tabla I. Elementos mayoritarios en muestras representativas de ambas cuencas.

No	No. Mtra	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe(t) como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %	CaO %	MgO %	Na <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	MnO %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SO <sub>3</sub> %	PPI %	Suma %	CO <sub>2</sub> %
1	M4	4.01	0.92	0.59	0.05	53.64	0.37	0.05	0.02	0.02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	40.82	100.49	38.06
2	M7	1.27	0.32	0.37	0.01	55.08	0.07	< 0,01	< 0,01	0.03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	42.84	99.99	42.27
3	M9	1.34	0.33	0.18	0.01	55.41	0.21	< 0,01	< 0,01	0.05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	43.02	100.55	42.76
4	M10	32.88	5.28	1.47	0.13	32.72	0.28	0.33	0.85	0.06	0.03	< 0,01	< 0,01	26.56	100.59	25.21
5	M11	8.26	1.56	0.72	0.05	49.81	0.15	< 0,01	0.12	0.04	0.03	< 0,01	< 0,01	39.28	100.02	38.56
6	M13	1.12	0.36	0.14	0.02	55.84	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0.02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	42.02	99.52	42.01
7	M14	0.36	0.09	0.35	< 0,01	55.91	0.06	< 0,01	< 0,01	0.04	< 0,01	< 0,01	< 0,01	43.46	100.27	43.01
8	M15	0.19	0.07	0.12	< 0,01	55.94	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0.02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	43.50	99.84	42.26
9	M17	0.29	0.11	< 0,01	0.01	55.90	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0.02	0.11	< 0,01	< 0,01	43.83	100.27	42.51
10	M20	21.67	4.64	1.46	0.18	38.72	0.78	0.57	0.66	0.04	0.02	0.01	< 0,01	31.38	100.13	29.91
11	M21	21.31	5.29	1.82	0.20	37.46	0.87	0.72	0.65	0.07	0.03	< 0,01	< 0,01	31.18	99.60	28.92
12	M23	22.60	5.22	1.87	0.44	36.32	1.31	0.70	0.86	0.04	0.05	< 0,01	< 0,01	30.66	100.07	28.42
13	M25	72.33	12.62	2.76	0.02	1.97	0.25	7.26	0.26	0.04	0.08	< 0,01	< 0,01	2.24	99.83	1.48
14	M27	1.32	0.37	0.41	0.02	54.80	0.10	< 0,01	< 0,01	0.02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	42.88	99.92	42.51
15	M31	1.25	0.30	0.21	< 0,01	54.94	0.09	< 0,01	0.05	0.01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	42.85	99.70	38.31
16	M36	0.28	0.17	0.28	0.25	55.75	0.12	< 0,01	< 0,01	0.01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	43.88	100.74	43.25
17	M46	12.56	4.55	2.40	0.04	43.17	0.77	< 0,01	0.22	0.05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	36.08	99.84	32.38
18	M47	1.57	0.65	0.57	0.01	54.59	0.26	< 0,01	< 0,01	0.03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	42.48	100.16	42.02
19	M49	0.34	0.15	0.15	0.04	55.61	0.07	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0.01	< 0,01	< 0,01	43.58	99.95	40.29
20	M57	1.57	0.64	0.65	0.11	55.12	0.22	< 0,01	< 0,01	0.08	< 0,01	< 0,01	< 0,01	42.32	100.71	41.77
21	M60	11.68	2.32	1.09	0.12	46.56	0.33	< 0,01	0.04	0.04	0.02	< 0,01	< 0,01	38.06	100.26	32.13
22	M64	30.18	4.06	1.08	0.11	35.19	0.21	< 0,01	0.74	0.04	0.02	< 0,01	< 0,01	28.20	99.83	23.48
23	M65	15.44	2.70	0.99	0.02	45.19	0.18	< 0,01	0.35	0.05	< 0,01	< 0,01	< 0,01	35.36	100.25	31.14
24	M63	44.50	5.27	1.24	0.10	25.26	0.04	0.40	1.40	0.05	< 0,01	< 0,01		22.00	100.26	
25	M1	25.61	4.19	1.63	0.19	36.62	0.46	0.77	0.90	0.10	< 0,01	< 0,01		29.32	99.79	

La determinación de CO<sub>2</sub> es orientativa.



## CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS PARA CUBA.

**Carlos Morales Echevarría<sup>(1)</sup>, Lorenza Mejías Rodríguez<sup>(1)</sup>, Ileana García Cádiz<sup>(2)</sup>.**

(1)Centro de Investigación y Desarrollo del Petróleo. Washington 169, Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba, E-mail: [cmorales@ceinpet.cupet.cu](mailto:cmorales@ceinpet.cupet.cu), [lorenza@ceinpet.cupet.cu](mailto:lorenza@ceinpet.cupet.cu).

(2)Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca, 1002. San Miguel del Padrón, Ciudad Habana. E-mail: [ileana@igp.minbas.cu](mailto:ileana@igp.minbas.cu).

### RESUMEN.

Con el objetivo de presentar una terminología petrográfica actualizada que contribuya a la creación de un sistema de información geológica digitalizada para Cuba, y a la estandarización de la información geológica, facilitando un lenguaje común entre los geólogos, proporcionando un sistema sencillo para introducir, almacenar y recuperar los datos petrográficos de las bases de datos geológicos e igualmente contribuir a la actualización de los geólogos cubanos en estos importantes tópicos de nomenclatura y clasificación de las rocas cubanas en relación con los estándares internacionales un grupo de petrógrafos de varias instituciones del país se dio a la tarea de crear clasificaciones de rocas actualizadas siguiendo la tendencia internacional y las características de los diferentes tipos de rocas en nuestro territorio. En el presente trabajo se ha tomado para su realización el grupo de rocas sedimentarias.

El presente trabajo, Clasificación de Rocas Sedimentarias para Cuba, consta de dos partes. La primera, dedicada a la clasificación de estas rocas. En esta temática se aborda a manera de resumen las diferentes tendencias seguidas por distintos autores a la hora de clasificar cada grupo y propone una clasificación ajustada a nuestras condiciones geológicas.

La segunda parte del trabajo constituye un anexo representado por un Glosario de más de 100 términos sedimentarios de amplio uso, ilustrado fundamentalmente con ejemplos de rocas cubanas.

Para la realización de este trabajo se consultaron más de 20 libros los cuales reflejan tanto la tendencia de la escuela soviética, como la de las escuelas europeas y norteamericana.

Plantear algo nuevo sobre las rocas sedimentarias, no es el objetivo del presente trabajo, el mismo se nutre directamente de concepciones y esquemas de especialistas connotados, tales como Pettijohn, Lodvinenko y Rujin. Una gran fuente de información para este trabajo resultaron los seminarios impartidos, por Rafael Segura Soto, el cual asesoró la realización del mismo.

Lo exclusivo de la presente obra radica en tomar todo este legado y llevarlo a un lenguaje actualizado estableciendo equivalencias entre las distintas escuelas allí donde sea posible.

Los autores del presente trabajo dedicamos la misma a Rafael Segura Soto el cual durante décadas con amor y dedicación a la profesión ha contribuido a la formación de generaciones de especialistas.

### ABSTRACT.

With the objective of presenting an up to date petrology terminology that contributes to the creation of a system of geologic information digitized for Cuba, and to the standardization of the geologic information, facilitating a common language among the geologists, providing a simple system to introduce, to store and to recover a petrology data of the geologic databases and equally to contribute to the upgrade of the Cuban geologists in these important nomenclature topics and classification of the Cuban rocks in connection with the international standards a group of petrologist of several institutions of the country was given to the task of creating classifications of up-to-date rocks following the international tendency and the characteristics of the different types of rocks in our territory who presently work has taken for its realization the group of sedimentary rocks.

The present work, Classification of Sedimentary Rocks for Cuba, consists of two parts. The first one, dedicated to the classification of these rocks. In this thematic one it is approached by way of summary the different tendencies continued by different authors when classifying each group and it proposes an adjusted classification to our geologic conditions.



The second part of the work constitutes an annex represented by a Glossary of more than 100 sedimentary terms of wide use, cultured fundamentally with examples of Cuban rocks.

For the realization of this work they were consulted more than 20 books which reflect the tendency of the Soviet school so much, as that of the European and North American schools.

To outline something new envelope the sedimentary rocks, it is not the objective of the present work, the same one it is nurtured directly of conceptions and connoted specialists' outlines, such as Pettijohn, Lodvinenko and Rujin. A great source of information for this work was the imparted seminars, by Rafael Segura Soto, which advised the realization of the same one.

The exclusive of the present works resides in to take this whole legacy and to take it to an up-to-date language establishing equivalences among the different schools where it is possible.

The authors of the present work dedicate the same one to Rafael Segura Soto the one which during decades with love and dedication to the profession has contributed to the formation of specialists' generations.

## INTRODUCCIÓN.

Dada la diversidad de nombres adoptados por los especialistas cubanos al describir las rocas, producto de la utilización de diferentes clasificaciones, algunas de las cuales se encuentran obsoletas, fue necesario elaborar un sistema de clasificación de rocas sedimentarias que posibilitara utilizar un lenguaje común entre los especialistas.

Términos tales como aleurolita, gravelita, caliza pelitomórfica, caliza organógena y fragmentaria, que en su tiempo jugaron un papel importante al clasificar grupos de rocas, hoy se encuentran en desuso, por lo que resulta de gran importancia que podamos llegar a un acuerdo respecto a la utilización de un sistema de clasificación actualizado y común a todos.

El sistema de clasificación de las rocas sedimentarias propone:

Términos y definiciones en aspectos polémicos de las clasificaciones actuales, para poder obtener un sistema, que pueda ser utilizado en lo adelante por los especialistas, de modo que exista unificación de términos en mapas y trabajos futuros.

Lograr la utilización de un sistema de clasificación para las rocas sedimentarias actualizado, que permita que el resultado de las investigaciones y servicios estén acorde con la terminología utilizada en el mundo.

En la presente clasificación se hace un alto especial en las rocas carbonatadas, esto esta fundamentado por los siguientes factores:

- Las rocas carbonatadas son de gran importancia económica de 1/3 a 1/4 de la producción de petróleo mundial esta vinculado a reservorios en rocas carbonatadas. Estas rocas se utilizan como material de construcción, la cal constituye uno de los componentes fundamentales del cemento Pórtland. Son utilizadas también para la elaboración de papel de filtro. Estas rocas constituyen reservorios de aguas subterráneas las cuales elaboran extensos canales subterráneos a través de estas rocas.
- Las rocas carbonatadas constituyen 1/4 de todo el registro estratigráfico a nivel mundial. Gran parte de la geografía de nuestro país esta representada por este tipo de rocas.
- Las rocas carbonatadas constituyen un grupo muy singular dentro de las rocas sedimentarias, esto está fundamentado en su origen poligenético, lo que hace necesario tratarlas con mayor atención para comprender mayor su naturaleza.

La presente clasificación incluye una sección dirigida a las rocas volcanoclástica.



Para la gran mayoría de los petrógrafos estas rocas suelen caer en ocasiones en tierra de nadie. Esto se fundamenta por el hecho de que al ser las mismas producidas a partir de la actividad volcánica se asemejan en muchos aspectos fundamentales a las rocas ígneas.

Por otra parte cuando estos fragmentos son depositados e incluso redepositados se comportan en todos sus aspectos como rocas sedimentarias. En el glosario se incluyen términos vinculados con estas rocas.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

Para la confección del presente trabajo se revisaron más de 20 textos vinculados con la temática de las rocas sedimentarias, los mismos provenientes de diversas escuelas geológicas, a partir de los cuales se tomaron las bases para la presente clasificación. En algunos textos se encontraron temáticas que se adaptaban a las características de nuestra clasificación en otros hubo que hacer equivalencias para poder lograr en nuestro trabajo un lenguaje común. A la hora de confeccionar el Glosario se siguió la misma metodología apoyándonos a la vez en varios textos ya que unos términos eran tratados muy someramente por algunos autores y sin embargo por otros se profundizaba más.

Para la realización del presente trabajo se realizaron comisiones de estudio entre diversos petrógrafos del país, donde se discutieron intensamente los temas y se llegó a un consenso sobre la estrategia a seguir, para lograr un sistema de información geológica nacional actualizado.

En el transcurso del trabajo se consultaron clasificaciones recientes de diferentes lugares del mundo, se consultaron las fuentes de las actuales clasificaciones de Folk Y Dunham de gran uso a nivel mundial, al igual que artículos de Internet.

Una fuente muy útil constituyó los diferentes seminarios impartidos por Rafael Segura Soto y su constante asesoramiento.

Se observaron muestras y secciones delgadas de todas los tipos de rocas sedimentarias cubanas, de las cuales se fotografiaron los ejemplares que mejor representan los parámetros clasificatorios.

## **DISCUSIÓN.**

En nuestro país las rocas sedimentarias se encuentran ampliamente distribuidas tanto en la superficie como en el subsuelo, por lo que el estudio de las mismas constituye una ardua tarea para los petrógrafos y geólogos cubanos.

El desarrollo geológico en Cuba ha estado sujeto a influencias de varias escuelas, durante el pasado siglo. La presencia de compañías norteamericanas en las investigaciones geológicas introdujo conceptos y términos que después del triunfo de la Revolución, se vieron modificados por la presencia de los países socialistas, fundamentalmente la Unión Soviética.

En lo referente a la nomenclatura sedimentaria en los últimos años se ha adoptado una terminología que debe sus orígenes a las necesidades de índole petrolera. Con respecto a esto, Cuba no es una excepción. A nivel mundial hoy en día la mayoría de las investigaciones





de índole sedimentaria usan esa nomenclatura, la cual ha evolucionado considerablemente en las rocas carbonatadas.

Es preciso a la hora de confeccionar una clasificación de las rocas sedimentarias para Cuba, en primer lugar, no estar ajeno a la tendencia internacional, ya que en muchos casos numerosos informes investigativos pueden ser usados por compañías extranjeras. Si bien, hace aproximadamente 15 años, usábamos una nomenclatura de origen fundamentalmente soviético, esto ha venido evolucionando y hoy en día se utiliza una nomenclatura más occidental, la cual está muy generalizada a nivel mundial.

Una clasificación de rocas sedimentarias para Cuba debe expresar de forma clara y breve las características de nuestras rocas, que sus términos sean seleccionados según el uso prevaleciente a nivel nacional y mundial. La misma debe ser una guía manejable en el estudio de los sedimentos. De aquí se deriva la gran responsabilidad que tienen los especialistas a la hora de seleccionar los parámetros o propiedades que guíen esta clasificación.

La presente clasificación de rocas sedimentarias para Cuba ha sido realizada en el marco del Proyecto Diseño de Sistema de Información Geológica de Cuba, escala 1:100 000 (SÍGEOL), realizado en el Instituto de Geología y Paleontología (I.G.P.), desde abril de 2002 hasta junio de 2003, con el objetivo de preparar un conjunto de estándares y procedimientos que contengan el diseño de un sistema de información geológica para Cuba.

A la hora de adoptar una clasificación nos vimos atrapados precisamente en el dilema del carácter poligenético de las mismas y la necesidad de que nuestra clasificación fuera un verdadero resumen de conocimientos de carácter funcional, (Figura 1).

Basándonos en esto proponemos un sistema de clasificación representado en seis niveles jerárquicos, donde los grupos de rocas se analizan de lo general a lo particular, (Figura 2).

Hemos dividido las rocas sedimentarias en dos grandes grupos, las detríticas y las no detríticas, conformando así los dos primeros niveles jerárquicos. Es necesario aclarar que con el objetivo de hacer menos compleja esta clasificación, se incluyen las rocas arcillosas en las rocas detríticas, pero las rocas arcillosas presentan un origen físico químico, el cual se basa fundamentalmente en que las mismas se forman producto de la alteración de minerales primarios, ejemplo, la alteración del feldespato potásico en caolinita, la que luego se transporta mecánicamente y se redeposita comportándose como soluciones coloidales y vinculándose con procesos de coagulación. Pero estas rocas son la fracción granulométrica mas fina después de los procesos erosivos y por esta razón basándonos en el aspecto granulométrico las incluimos en el grupo detrítico. Lo mismo ocurre con los carbonatos, los cuales se incluyen en el grupo de las rocas no detríticas, a pesar de que algunas de estas rocas tienen aspecto típico de rocas detríticas.

En el anexo gráfico se reflejan las clasificaciones adoptadas para los diversos tipos de rocas sedimentarias. Debido a lo limitado de esta ponencia no realizamos la explicación detallada de cada grupo, no obstante la misma esta detalladamente descrita en el trabajo original, donde también se encuentra el glosario realizado para las rocas sedimentarias.



## CONCLUSIONES.

La presente clasificación de rocas sedimentarias se ha realizado basándose fundamentalmente en la tendencia internacional que hoy en día se sigue con respecto a estas rocas y sobre todo contando con la opinión prevaleciente entre los especialistas.

Se han presentado en dicho trabajo varias tendencias a la hora de clasificar las rocas para que el lector pueda de una forma clara reconocer con mayor facilidad el camino seguido por los autores de este trabajo.

Se ha demostrado que no se puede contar con un criterio único para clasificar estas rocas. Se ha tratado de ajustar la clasificación a las características de nuestras rocas.

La presente clasificación cuenta con un Glosario de Rocas Sedimentarias donde de forma más estrecha se explican algunos aspectos con relación a estas rocas que no hemos considerado necesario explicar en la clasificación presente, la misma cuenta con avales realizados por la sociedad de geología de Cuba, el centro politécnico del petróleo y de importantes especialistas.

## BIBLIOGRAFIA.

- Castroviejo Ricardo (1998). Fundamentos de Petrografía. Universidad Politécnica de Madrid Direcciones de Relaciones con Latinoamérica.
- Corrales Zarrauza I; Rosell Sanvyr; Sánchez de la Torre L; Vera Torres J.A; Vilas Minondo L (1997). Estratigrafía. Edit. Rueda. Madrid, 718 pag.
- Dunham, R. J. (1962). Am. Ass. Petr. Geol. Mem. I. 108-121 pág.
- Embry, A. F., Klován, J.E. (1971). A late Devonian reef tract of northeastern Banks Island N. W. Territories. Bull. Can. Perol. Geol., 19, 730-781 pag.
- Folk R. (1962). Spectral subdivision of limestone types. Bulletin of the American Association of. Petroleum. Geologists, January, 1959 1-39. pág.
- Gallegos, J. A. (1993). Claves Litológicas, Public Univ. Granada, 204 pág.
- Hallsworth C.R. Servicio Geológico Británico (1999).
- Logvinenko H. B. (1984) Petrografía de Rocas Sedimentarias, ed. Vishaya Shkola, (en idioma ruso), 415 pág.
- Pettijohn F. J. (1957). Sedimentary Rocks, Harper International Edition, Second Edition 718 pag.



**Tabla I: Composición y origen de las rocas sedimentarias. (Logvinenko N. V. Petrografía de rocas sedimentarias , Pág. 103)**

Génesis de la rocas	COMPOSICION DE LA ROCA									
	Areniscas y Limolitas	Arcilitas.	Alitas	Ferrolitas	Manganolitas	Fosforitas	Silicitas	Carbonatos	Evaporitas	Constobiolitas
Fragmentarias	X	X	X					X		
Químicas		X	X	X	X	X	X	X	X	
Bioquímicas (fundamentalmente de origen bacteriano)						X	X	X		
Biogénicas						X	X	X		X

**Tabla II: Clasificación granulométrica de las rocas detríticas.**

Tamaño en mm		Fragmentos redondeados subredondeados y subangulares		Fragmentos angulares	
		Nombre del fragmento	Nombre de la roca	Nombre del fragmento	Nombre de la roca
256 64 2	> 256	Canto rodado	Conglomerado	Bloque	Brecha
	128	Guijarro grande			
	64	Guijarro pequeño			
	32	Grava muy gruesa			
	16	Grava gruesa			
	8	Grava mediana			
	4	Grava fina			
	2	Grava muy fina			
	1	Arena muy gruesa	Arenisca	Arena	Arenisca
0.060	1/2	Arena gruesa			
	1/4	Arena mediana			
	1/8	Arena fina			
	1/16	Arena muy fina			
	1/32	Limo grueso	Limolita	—	—
0.004	1/64	Limo mediano			
	1/128	Limo fino			
	1/256	Limo muy fino			
0.001	1/512	Arcilla gruesa	Arcilita	—	—
	1/1024	Arcilla mediana			
	1/2048	Arcilla fina			



**Tabla III: Clasificación de Wenworth.**

(mm)	0,004	0,03	0,06	0,12	0,25	0.5	1	2
calclutita	F	G	MF	F	M	G	MG	calcirudita
	calcsiltita		calcarenita					
Campo y microscopio binocular. No es genética ni expresa relaciones íntimas								

**Tabla IV: Clasificación de Embry y Klován.**

CALIZAS ALOCTONAS						CALIZAS AUTOCTONAS		
COMPONENTES > 2mm < 10 %				COMPONENTES > 2mm > 10 %		ORGANISMOS QUE ACTUAN COMO "BAFFLES"	ORGANISMOS INCRUSTANTES Y LIGANTES	ORGANISMOS CON CONSTRUCCIONES RIGIDAS
CON LODO (<0.03mm)			SIN LODO	SOPORTE DE LODO	SOPORTE DE GRANOS			
SOPORTE DE LODO		SOPORTE DE GRANOS						
GRANOS < 10% (>0.03<2mm)	GRANOS >10%							
MUDSTONE	WACKES-TONE	PACKS-TONE	GRAINS-TONE	FLOATS-TONE	RUDS-TONE	BAFFLESTONE	BINDSTONE	FRAMESTONE

**Tabla V: Clasificación de Folk (1959) para las rocas carbonatadas. Se discute actualmente el carácter primario de la dolomita.**

					CALIZAS, CALIZAS PARCIALMENTE DOLOMITIZADAS Y DOLOMITAS PRIMARIAS*				DOLOMITA DE SUSTITUCIÓN (V)			
					Más del 10% de aloquímicos ROCAS ALOQUÍMICAS (I Y II)		Menos del 10% de aloquímicos ROCAS MICROCRISTALINAS (III)		Rocas de tipo BIOHERMICO	Con "sombras" o fantasmas de ALOQUÍMICOS	Sin "sombras" de ALOQUÍMICOS	
					Cemento de calcita esparítica más abundante que matriz micrítica	Matriz micrítica más abundante que el cemento esparítico	De 1 a 10 % de ALOQUÍMICOS	Menos del 1 % de Aloquímicos				
					(I) Rocas Aloquímicas Esparíticas	(II) Rocas Aloquímicas Microcristalinas						
COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA EN ALOQUÍMICOS	Más del 25 % de INTRACLASTOS		INTRA - ESPARRUDITA INTRA ESPARITA	INTRA - MICRORRUDITA INTRAMICRITA	Según ALOQUÍMICO más abundante	MICRITA INTRACLÁSTICA	MICRITA Parcialmente recristalizada: DISMICRITA Si es una dolomita primaria: DOLOMICRITA	BIOLITITA	Según ALOQUÍMICO visible	Dolomita intracrística	Ejemplos	
	Más del 25 % de Oolitas		OOESPARRUDITA OOESPARITA	OOMICRORRUDITA OOMICRITA		MICRITA OOLÍTICA				Dolomita oolítica	Dolomita medianamente cristalina	
	Menos del 25% de OOLITAS (BIP= Relación de volúmenes de fósiles a Peletas)		BIOESPARRUDITA BIOESPARITA	BIOMICRORRUDITA BIOMICRITA		MICRITA FOSILÍFERA				Dolomita biogénica	Dolomita finamente cristalina	
			BIOSPARUDITA BIOSPARITA	BIOMICRORRUDITA BIOMICRITA		MICRITA PELETÍFERA						
			BIOSPARUDITA BIOSPARITA	BIOMICRORRUDITA BIOMICRITA								
< 1/3		PELESAPARITA	PELMICRITA									



**Tabla VI: Clasificación de Carbonatos según su textura cristalina, por Folk. (1959)**

Textura Cristalina	Tamaño (mm)
Gruesa Extrema	> 4
Muy Gruesa	4 - 1
Gruesa	1 - 0.25
Media	0.25 - 0.062
Fina	0.062 - 0.016
Muy Fina	0.016 - 0.004
Afanocristalina	< 0.004

**Tabla VII: Clasificación de Evaporitas para Cuba.**

Composición Química	Roca
Sulfatos	Roca de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) Roca de anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ )
Haluros	Roca de sal (halita) ( $\text{NaCl}$ )

**Tabla VIII: Clasificación de Silicitas para Cuba**

	Génesis	Composición
		Rocas
<b>Marino</b>	Química Bioquímica	Pedernal estratificado -- Chert Pedernal Concrecional -- Flint
	Biológica	Radiolaritas Espongolitas Diatomitas
<b>Continental</b>	Química	Costras y concreciones en Serpentinitas
	Biológica	Maderas solificadas



**Tabla IX: Clasificación de Fosforitas para Cuba.**

<b>Génesis</b>	<b>Procedencia del fósforo</b>	<b>Características</b>
<b>Marina</b>	Acumulaciones anormales de fósforo, contenido en las partes duras de los organismos, tales como dientes, huesos, escamas de peces. Acumulaciones de coprolitos de peces, crustáceos que forman el guano submarino.	Distribución amplia, constituyendo capas continuas, mezcladas con calizas y arcillas
<b>Continental</b>	Acumulaciones de huesos de vertebrados en cavernas, guano de murciélago o de aves costeras.	Distribución restringida. Variedades compactas y terrosas.





**Tabla X: Determinación macroscópica de las rocas sedimentarias.**

TEXTURA O ESTRUCTURA COMUN		COMPONENTES PARTICULAS DE ROCAS Y MINERALES	ROCA SEDIMENTARIA		RASGOS DIAGNÓSTICOS
Clásticas , roca determinada por el tamaño de las partículas	Rudácea 2-256 mm	Uno o varios elementos mezclados, especialmente pedernal, cuarzo, granito, cuarcita, caliza, etc.	Conglomerado		Fragmentos en su mayoría subredondeadas a redondeadas.
			Brecha		Fragmentos angulares.
		La porción de cuarzo detrítico es mayor de 95%	Arenita cuarcífera o cuarzo arenita		Arenas bien seleccionadas maduras y limpias, matriz menor de 15%.
	Arenácea 0.060-2 mm	La proporción de feldespatos es superior al 25%.	Arcosa o arenita arcósica		Arenas rosadas de moderadas a mal seleccionadas, no maduras compuestas fundamentalmente de cuarzo y feldespatos, matriz menor de 15%.
		La proporción de fragmentos de rocas mayor de 25%.	Arenita lítica o litoarenita.		Arenas frecuentemente formadas por rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas con una selección generalmente buena, de color gris claro, matriz menor de 15 %.
		La proporción de cuarzo detrítico mayor de 95%	Vaca cuarcífera o Cuarzovaca .		Arenas poco frecuentes con una matriz superior al 15%, ricas en cuarzo.
		La proporción de fragmentos de rocas mayor de 25%, abundante en ambos tipos de feldespatos y granos de rocas.	Grauvacas		Arenas de color gris oscuro, con matriz mayor de 15%, la matriz oscura y de grano fino es el aspecto esencial de estas rocas, la misma consiste de granos finos entrecrecidos de sericita y clorita en otros casos puede ser caolinitica .
	Limosa 0.004-0.060 mm	Principalmente, cuarzo afanítico, ópalo, calcedonia, carbonatos, pirita, clorita y minerales arcillosos.	Lutitas (fisiles)	Limolita	Granos de tamaño intermedio arena - arcilla.
	Pelítica < 0,004 mm	Minerales arcillosos, calcita y materia orgánica.		Arcilita	Blanda y plástica.
	No clásticas, Rocas determinadas por la composición química o mineralógica.	Densa, afanítica, criptocristalina, cristalina, oolítica, fosilífera, fragmentaria.	Principalmente calcita.	Caliza	
Principalmente dolomita			Dolomita		No reacciona fácilmente con el HCl frío. Raramente presentan fósiles, tienden a ser de grano medio.
Grano fino		Calcita de grano fino o finamente cristalina, con restos de caparzones finos de microorganismos.	Creta		Blanca gris claro, muy friable, fosilífera.
		Materia calcárea y minerales arcillosos.	Marga		Gris claro, crema, friable.
Densa.		Mezcla de sílice coloidal, ópalo, calcedonia, etc.	Pedernal, (chert).		Duro, lustre mate a semivitreo, fractura concoidal de varios colores negro, blanco, crema, etc.
Cristalina o masiva.		Principalmente yeso	Roca de yeso		Evaporitas asociadas frecuentemente en el campo, los agregados de cristales son comunes. El yeso se raya con la uña dureza dos, la anhidrita es más dura que el yeso y menos dura que el cuarzo dureza 4, la roca de sal es delicuescente.
		Principalmente anhidrita	Roca de anhidrita		
		Principalmente halita.	Roca de sal.		
Masiva o estratificada.		Minerales fosfáticos y fragmentos de hueso	Fosforita		Es necesario el ensayo quimico con P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Amorfa en capas.		Humus,Turba.	Lignito		Color pardo o café, con el fuego produce ceniza.
	Sapropel	Asfaltita		Color negro, luster resinoso, fractura concoidal, con el fuego se funde y produce glóbulos.	



**Tabla XI:**

<b>Clase</b>	<b>Criterios de Subdivisión</b>
Rocas siliciclásticas	Génesis Textura
Rocas carbonatadas, incluye carbonatos detriticos	Composición Textura
Evaporitas	Composición
Rocas silíceas de origen orgánico y químico	Génesis
Rocas alúmino ferruginosas de origen químico	Génesis Composición
Rocas Fosfatadas	Génesis
Caustobiolitas	Composición

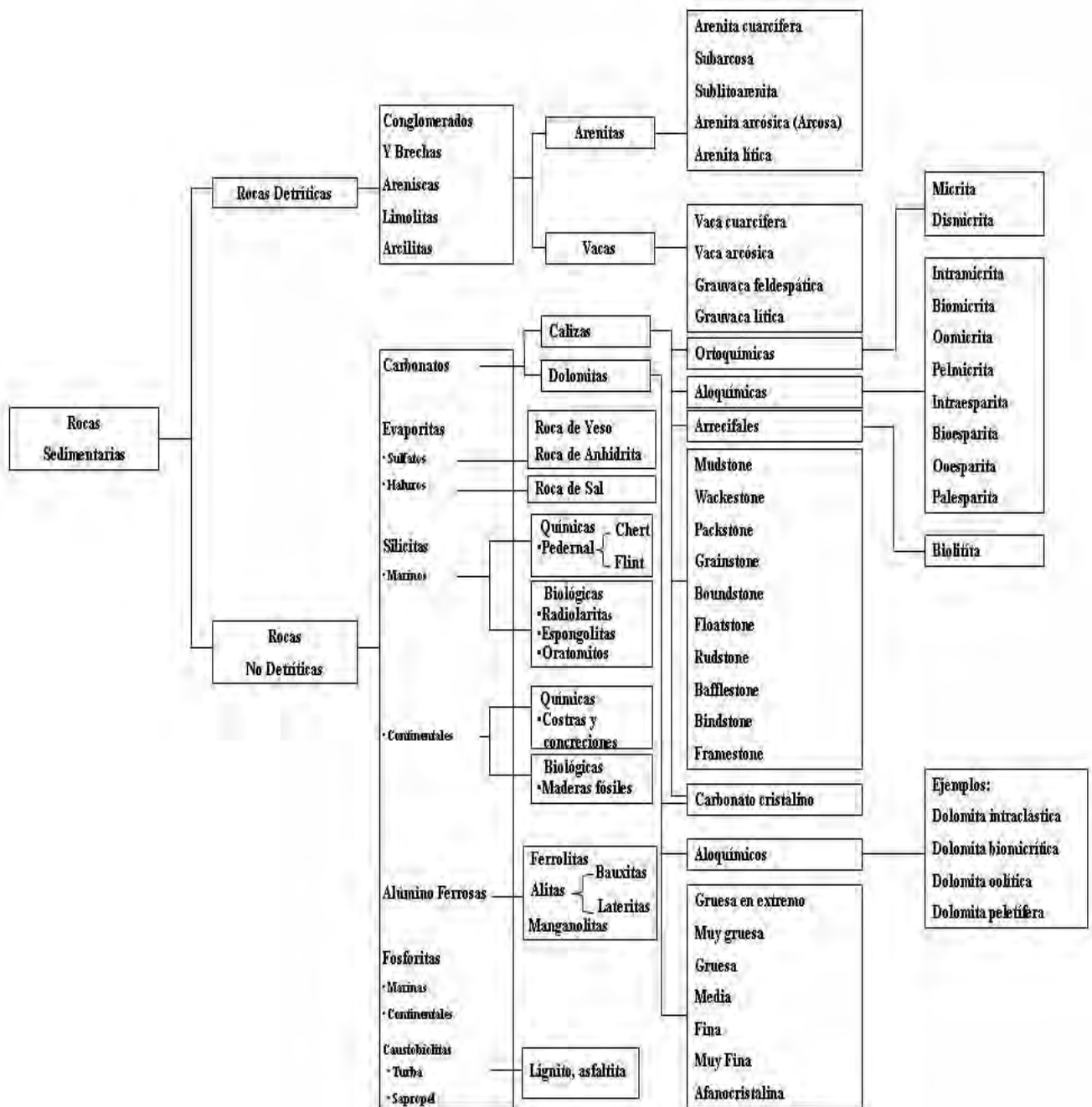
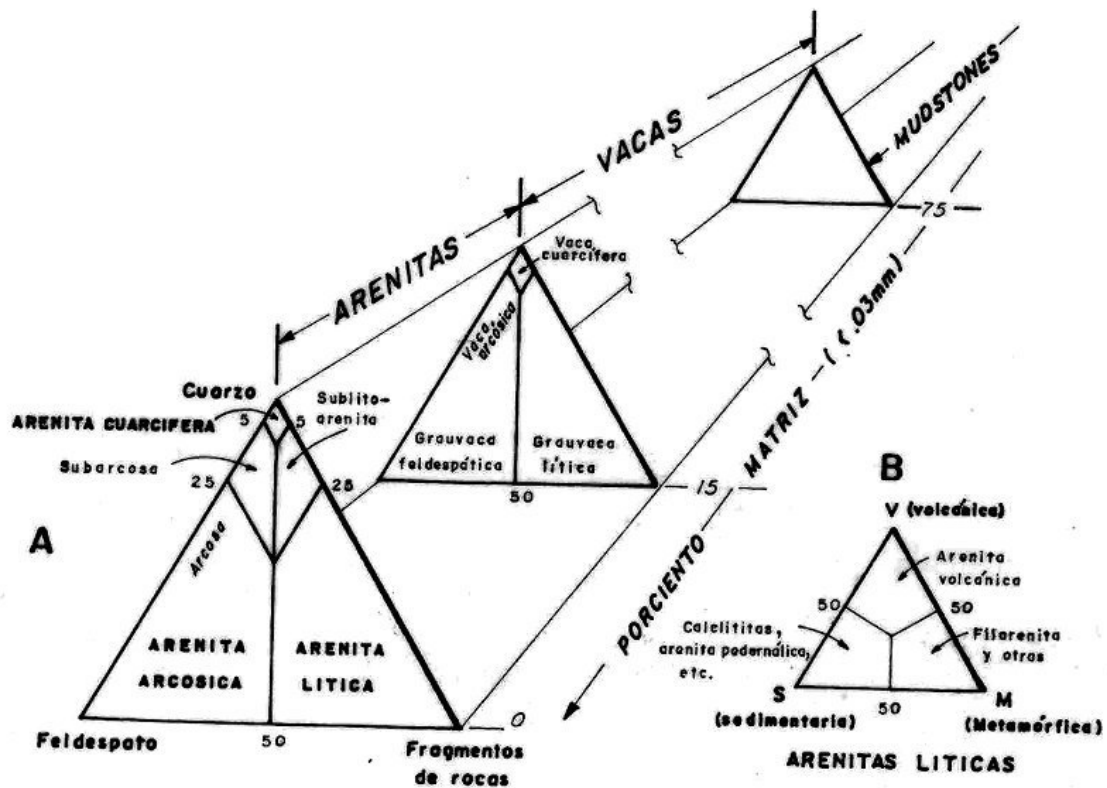


Figura 1: Sistema de clasificación de rocas sedimentarias para Cuba.



**A:** Clasificación de areniscas según Pettijohn, 1975 (modificado de Dott, 1964); **B:** subdivisión de litoarenitas, según Pettijohn, 1975 (Folk, 1968).

Figura 2: Clasificación de Areniscas.



Texturas deposicionales reconocibles					Textura deposicional no reconocible
Los componentes originales no estaban unidos (ligados) durante la sedimentación			Los componentes originales estaban unidos (ligados)		
Contiene lodo (carbonato tamaño arcilla a limo fino)		Carece de lodo. Sostén de granos			
Con sostén de lodo					
Menos del 10% de granos	Más del 10% de granos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Cristalina

**Figura 3: Clasificación de calizas y representación esquemática de cada tipo de roca, según Dunhan (1962). Criterios granulométricos : fango (mud)<20 µm; grano (grain) >20 µm.**

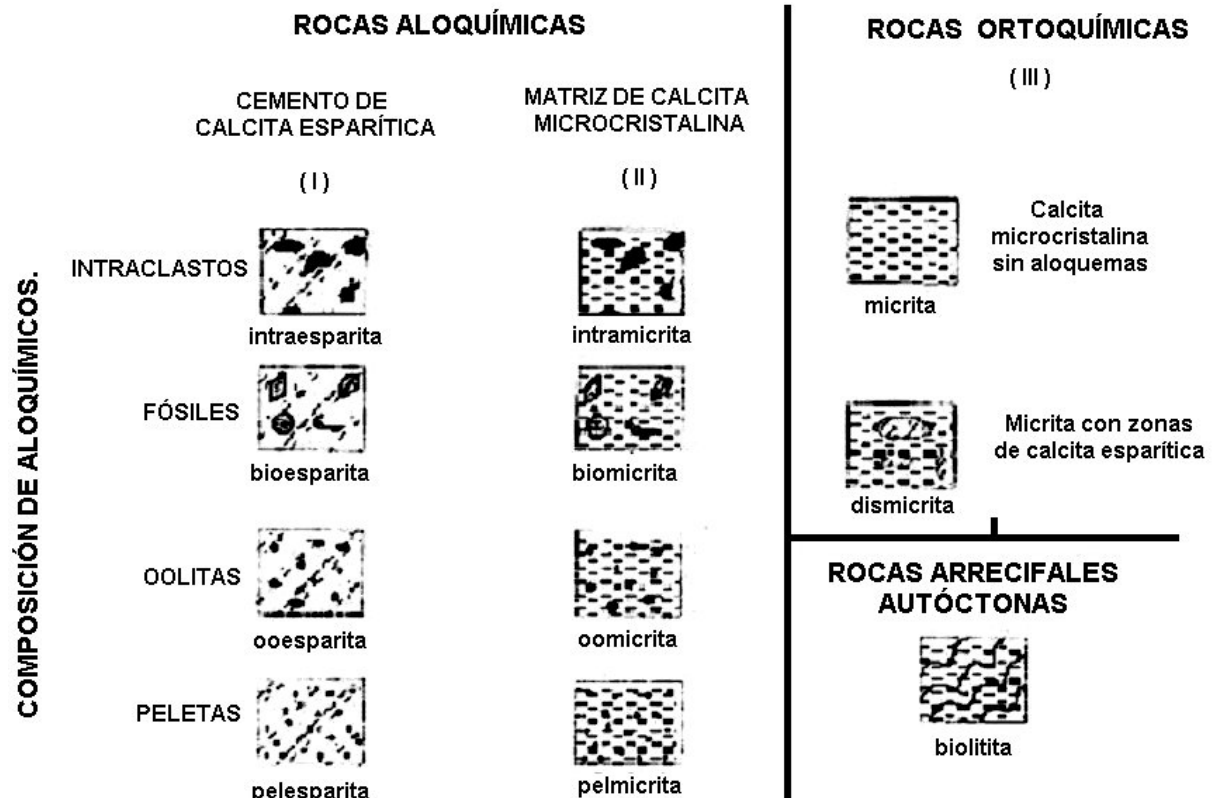


Figura 4: Representación gráfica de las principales calizas según Folk.











Porcentaje de Aloquímicos	Más de 2/3 de matriz micrítica carbonatada				Igual proporción de matriz micrítica y esparita	Más de 2/3 de cemento esparítico		
	0 - 1 %	1 - 10 %	10 - 50 %	> 50 %		Grano selección escasa	Grano selección buena	Aloquímicos rodados
Términos representativos de la roca	Micrita y dismicrita	Micrita fosilífera	Biomicrita	Biomicrita compacta	Bioesparita poco lavada	Bioesparita sin grano selección	Bioesparita grano seleccionada	Bioesparita redondeada
								
	 Micrita		 Cemento calcáreo esparítico					

Figura 5: Ejemplo de clasificación de madurez textural, según Folk (1962).



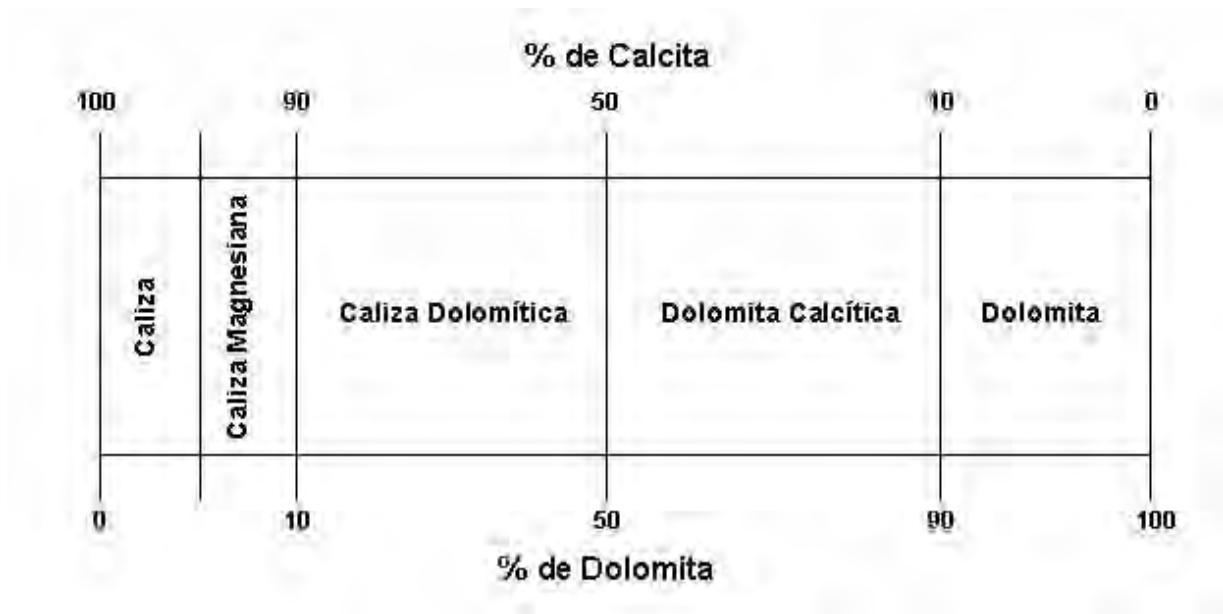


Figura 6: Clasificación de mezclas calcita –dolomita.  
Según Pettijohn F. J., 1975, Sedimentary Rock. FIG10-43 p. 360.



Figura 7: Clasificación de mezclas calcita y arcillas.  
Según Pettijohn.F.j., 1975, Sedimentary Rock.FIG10-41 p. 359 (modificada)



## **METODOLOGIA Y ANALISIS DE LA MADUREZ TEXTURAL Y PROVENIENCIA DE LOS FRAGMENTOS DEL RESERVORIO TERCIARIO DE LOS YACIMIENTOS CANASÍ-PUERTO ESCONDIDO**

**Ing. Asel María Aguilar Sánchez y Ing. Carlos Morales Echevarría**

**Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No. 169 esquina a Churrucá, Cerro, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: [asel@ceinpet.cupet.cu](mailto:asel@ceinpet.cupet.cu), [cmorales@ceinpet.cupet.cu](mailto:cmorales@ceinpet.cupet.cu)**

### **RESUMEN**

Los objetivos de este estudio se centraron en la determinación del coeficiente de redondeamiento, el análisis granulométrico y de proveniencia de los sedimentos terciarios de la Franja Norte de Crudos Pesados en el Área Puerto Escondido- Canasí. Estos estudios fueron realizados en los pozos Canasí 4, Canasí 8, PE 17, PE 10 y PE 14 a partir del estudio de las muestras de cuttings de las rocas del reservorio. Con la información así se demostró la naturaleza clástica de éstas rocas en áreas que no poseen núcleos y se utilizaron éstos resultados como elemento de correlación entre las diferentes áreas.

Como resultado del análisis estadístico realizado a un gran número de mediciones de fragmentos se obtienen las cinco clases fundamentales de redondeamiento: *muy redondeado, redondeado, sub redondeado, sub angular y angular*, además se reafirma el carácter conglomerático de las secuencias estudiadas mediante el estudio granulométrico: en el área Puerto Escondido se manifiestan las clases arena media, arena gruesa, arena muy gruesa y grava, mientras que en el área de Canasí, predomina la fracción arena gruesa y arena media, y clases granulométricas más finas, cosa que no ocurre en Puerto Escondido. Estos aspectos reafirman las conclusiones obtenidas al analizar los resultados del redondeamiento en cuanto a la posición de la fuente de aporte.

La bioestratigrafía descriptiva de los ditchés de los fragmentos de las rocas del reservorio, permitió reconocer un grupo diverso de edades de los fragmentos. Estas edades se pueden generalizar en las siguientes categorías: *Jurásico Superior-Cretácico Inferior, Cretácico Medio, Paleoceno-Eoceno y Cretácico-Terciario*.

### **ABSTRACT**

The objectives of this study were centered in the determination of the roundness classes, the size analysis and provenance of the tertiary sediments of the Cuban Northern Heavy Oil Province in the Puerto Escondido - Canasí areas. These studies were carried out in the wells: Canasí 4, Canasí 8, PE 17, PE 10 and PE 14 and our starting point was the study of the cuttings of reservoir rocks. This way the existence of these clastic sediments was demonstrated in areas that don't possess cores and these results were used as correlation element among the different areas.

As a result of the statistical analysis carried out to a great number of fragments mensurations, we obtained the five fundamental roundness classes: very rounded, rounded, sub rounded, sub angular and angular. The clastic nature of the sequences is also reaffirmed by means of size analysis: in the Puerto Escondido area are present these classes: medium sand, coarse sand, very coarse sand and gravel, while in Canasí area occurs coarse sand, medium sand and finer classes. These aspects reaffirm the conclusions obtained from roundness and its relationship with the position of the source area.

The descriptive biostratigraphy of the ditchés of the reservoir rocks allowed recognizing a diverse group of ages of the fragments. These ages can be generalized in the following groups: Upper Jurassic - Lower Cretaceous, Medium Cretaceous, Paleocene -Eocene, Cretaceous-Tertiary.



## INTRODUCCIÓN

Durante la perforación de pozos horizontales en los yacimientos Canasí, Boca de Jaruco, Yumurí y Seboruco se ha determinado la presencia de sedimentos Sinorogénicos de edad Paleoceno –Eoceno, los cuales actúan como reservorios potenciales y presentan características litológicas y bioestratigráficas muy diferentes al reservorio tradicional conocido hasta el momento como Grupo Veloz, de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior, que representa el principal reservorio de petróleo y gas en la franja norte de crudos pesados. Se ha podido comprobar que la composición de la unidad es compleja, dada la ocurrencia de bruscos cambios faciales en concordancia con una estructura interdigitada y dislocada.

El presente trabajo forma parte de los estudios que se están realizando para demostrar la existencia de estos sedimentos y sus objetivos principales se centraron en la determinación del coeficiente de redondeamiento, el análisis granulométrico y de proveniencia de los sedimentos en estudio. Lo anterior fue realizado en varios pozos seleccionados utilizando las muestras de cuttings de perforación de las rocas del reservorio. Con la información así obtenida se puede demostrar la naturaleza clástica de éstas rocas en áreas que no poseen núcleos, así como utilizar éstos resultados como elemento de correlación entre las diferentes áreas. El estudio de la proveniencia de los fragmentos es un aspecto medular en el conocimiento de la naturaleza de una roca clástica, facilitando la obtención de una clara idea de las características geológicas de la zona que funcionó como fuente aporte en el momento en que esos fragmentos se formaron.

## MATERIALES Y METODOS

El estudio fue realizado en los pozos Canasí 4, Canasí 8, PE 17 Y PE 14 utilizando las muestras de cutting de perforación a partir de un estudio detallado para dilucidar aspectos de la Sedimentología de estas rocas de manera que se discriminaron automáticamente los fragmentos de mayor tamaño, como guijas, guijarros, cantos y bloques. Estos fragmentos grandes, diferentes sin dudas por su propia naturaleza y proveniencia de los más pequeños, fueron objeto de especial atención cuando se estudiaron los núcleos de éstas áreas.

### Coeficiente de redondeamiento

Para obtener el Coeficiente de Redondeamiento se utilizó el método de Wadell expresado en Krumbein W.C, 1996. (Fig.1)

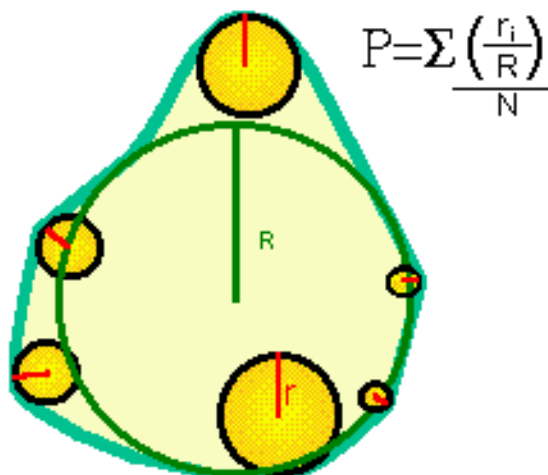




Fig.1. Gráfico básico para la aplicación del método de Wadell en la determinación del coeficiente de redondeamiento, donde R es el radio del máximo círculo inscrito, r es el radio promedio de las esquinas y bordes y n número es esquinas y bordes.

Se utilizó la siguiente escala convencional en función del coeficiente de redondeamiento

Angular	0-0.15
Subangular	0.15-0.25
Subredondeado	0.25-0.45
Redondeado	0.40-0.60
Bien redondeado	0.60-1.00

### Análisis Granulométrico

Para el análisis granulométrico se realizaron un número elevado de mediciones de los diámetros de los fragmentos y se utilizó la clasificación de Wentworth (1922), que propone las siguientes clases granulométricas. (Tabla 1)

Tabla.1 Clases Granulométricas

Tamaño de los fragmentos (mm)	Clase Granulométrica
< 0.003	Arcillas
0.003-0.06	Limo
0.06-0.12	Arena muy fina
0.012-0.25	Arena fina
0.25-0.5	Arena media
0.5-1	Arena gruesa
0.5-1	Arena muy gruesa
> 2	Grava

El análisis de estos parámetros se realizó utilizando los fragmentos enteros encontrados en las muestras de cuttings, sin utilizar los pedazos provenientes de la matriz. Las muestras de cuttings presentan la limitante de su propio tamaño, de manera que como sus granos no sobrepasan la dimensión de unos pocos milímetros, en ellos sólo es posible encontrar fragmentos enteros cuya granulometría no sobrepasa las dimensiones de la grava. Los fragmentos mayores, guijas, guijarros, bloques o cantos, aparecerán partidos en las muestras de cuttings, aunque frecuentemente pueden verse conservados algunos sectores de su superficie original.



## Proveniencia

La proveniencia se valoró a partir del estudio de la bioestratigrafía descriptiva de los ditches que se realizaron en los fragmentos de las rocas del reservorio y que permitió reconocer un grupo diverso de edades de los fragmentos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis del redondeamiento de los fragmentos.

Como base para el trabajo se hizo un estudio de los litotipos de que están compuestos los fragmentos de las rocas del reservorio.

Los ditches seleccionados en los pozos estudiados hicieron posible obtener, de forma generalizada, tres litotipos fundamentales en los fragmentos:

1. Wackestone bioclásticos muy impregnados de petróleo y bitumen, con algunos bioclastos parcial o totalmente sustituidos por metálico.
2. Mudstone calcáreos desde muy impregnados hasta ligeramente impregnados de petróleo y bitumen en poros, intersticios y fracturas, con diferentes grados de recristalización y dolomitización, predominando los intensamente recristalizados.
3. Pedernales radiolóricos, que evidentemente provienen de la silicificación de calizas, por lo que a veces se pueden clasificar como mudstone calcáreos silicificados.

Con los datos obtenidos se puede generalizar que en las áreas de Puerto Escondido y Canasí predominan ampliamente los mudstone calcáreos en todas sus variedades como el litotipo mas difundido en los fragmentos. Le sigue en segundo lugar el wackestone bioclástico, mientras que el pedernal se encuentra en porcentaje muy bajos. (Fig.2)

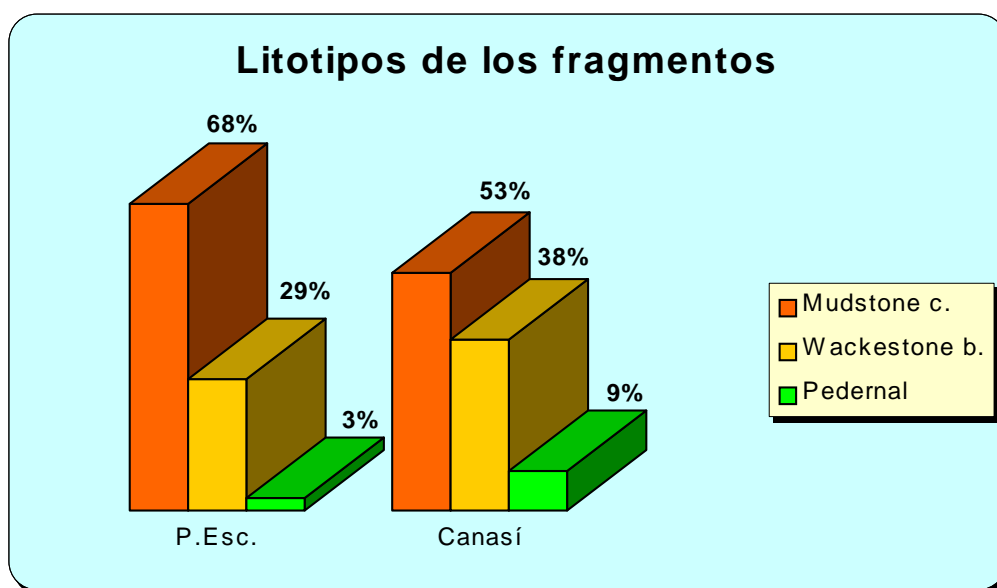


Fig. 2. Litotipos de los fragmentos y expresión gráfica de su relación, en porcentaje, en los yacimientos Puerto Escondido y Canasí



Como resultado del análisis estadístico realizado a un gran número de mediciones de fragmentos, se obtienen las cinco clases fundamentales de redondeamiento en el área: *muy redondeado*, *redondeado*, *sub redondeado*, *sub angular* y *angular*

Se pudo concluir que para toda el área de Puerto Escondido-Canasí (Fig.3) existe un predominio de la clase subangular, con 54%, en segundo lugar la clase angular, con 21% y en tercer lugar la clase subredondeada, con 20%, las clases redondeada y muy redondeada solo están presentes en un 5% y 1% respectivamente. Esto denota que el material detrítico es muy inmaduro, sufrió un escaso transporte en un período de tiempo relativamente corto.

Por su parte, en Canasí predominan los fragmentos de la clase bien redondeado (39%), siguiéndole en orden decreciente la clase sub redondeado (31%, redondeado (16%) y sub angular (12%), estando la clase angular representada sólo en un 2% .

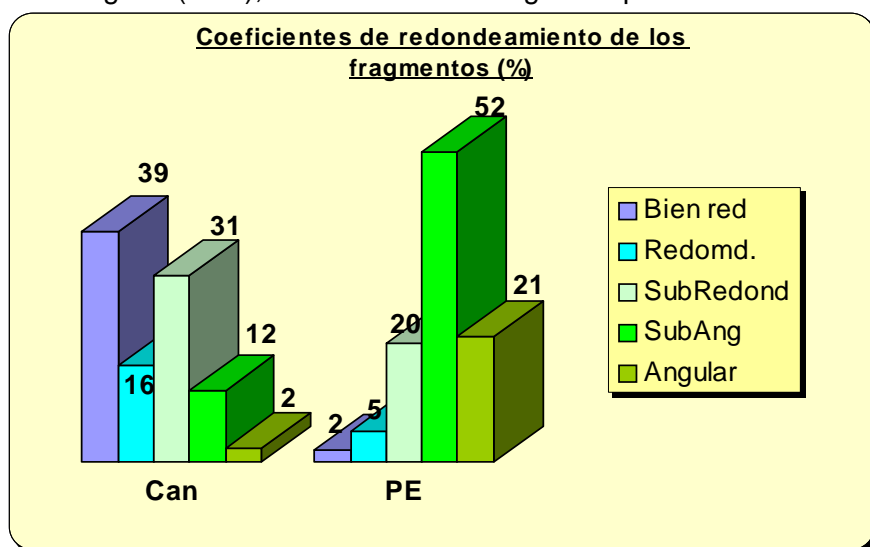


Fig. 3. Porcentaje de las diferentes clases de redondeamiento, comparándose las áreas de Canasí y Puerto Escondido.

Se estableció una relación entre litotipos y coeficiente de redondeamiento (Fig.4) Los que presentan mayor tendencia al redondeamiento son los litotipos wackestone bioclástico y mudstone calcáreo, que generalmente se incluyen en la clase subredondeado y subangular, mientras que los mudstone dolomitizados, carbonatos cristalinos de dolomitas y pedernales se presentan con bajo índice de redondeamiento perteneciendo a la clase angular fundamentalmente, debido indudablemente a su mayor resistencia al desgaste durante el transporte.



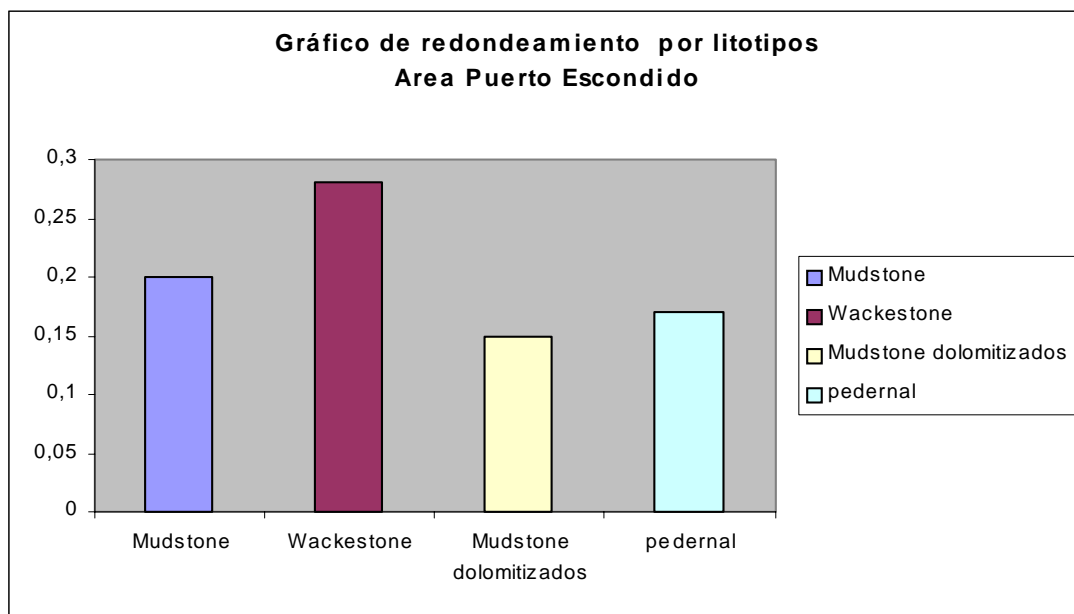


Fig. 4. Relación de los diferentes litotipos de los fragmentos con las clases de redondeamiento de Puerto Escondido-Canasí.

El análisis de éstos resultados arroja que los sedimentos depositados en el área de Puerto Escondido son mucho más inmaduros desde el punto de vista textural (relacionados con su forma) que los que se asentaron en el área de Canasí. Esto es una consecuencia directa de una menor distancia de acarreo para el primero, o lo que es lo mismo, que la deposición en Canasí se efectuó en una posición más distal dentro de la cuenca, al compararlos con Puerto Escondido, que representan una posición más proximal.

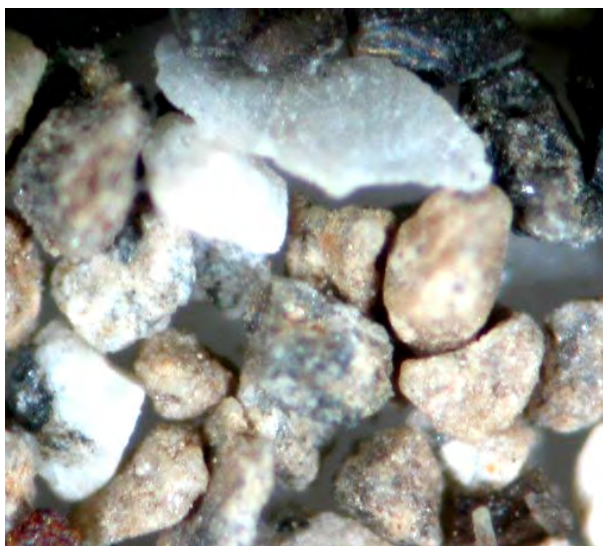


Fig. 5. Granos con fracción grava, partido, que conserva una superficie redondeada en su parte superior y un grano bien redondeado con fracción arena gruesa. Canasí 10, 8X.

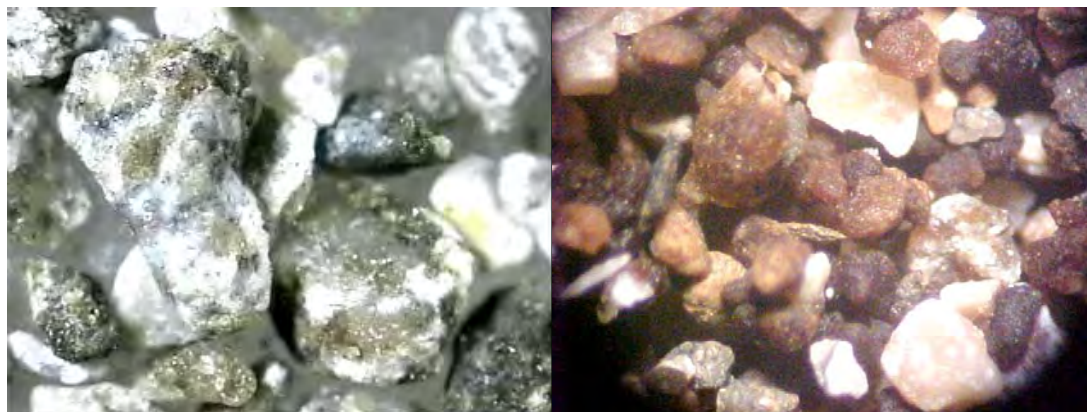


Fig.6. Izquierda: Se observan varios fragmentos de calizas con formas que van desde subredondeada (arriba, izquierda) hasta redondeada (abajo, derecha). El tamaño de estos granos es de 1.5-1,8mm (arena gruesa). (Pe-17, 32x).

Derecha: La granulometría es entre 0.8-1mm (arena media) y el redondeamiento de muchos granos es evidente en la imagen (Canasi 4, 50x.).

### **Análisis granulométrico**

En el área Puerto Escondido se manifiestan las clases arena media, arena gruesa, arena muy gruesa y grava, siendo las dos últimas las predominantes (43%) por lo que se reafirma el carácter conglomerático de las secuencias estudiadas.

En el área de Canasí, predomina la fracción granulométrica de arena gruesa y arena media, aunque también están presentes clases granulométricas más finas, cosa que no ocurre en Puerto Escondido, y éstas están en una proporción más amplia.

Estos aspectos parecen reafirmar las conclusiones que se obtuvieron al analizar los resultados del redondeamiento de los granos, o sea, que la cuenca donde se depositaron los sedimentos del área de Canasí estaba ubicada en una posición algo más alejada de la fuente de aporte que la que recibió los sedimentos del área de Puerto Escondido (Fig. 7).

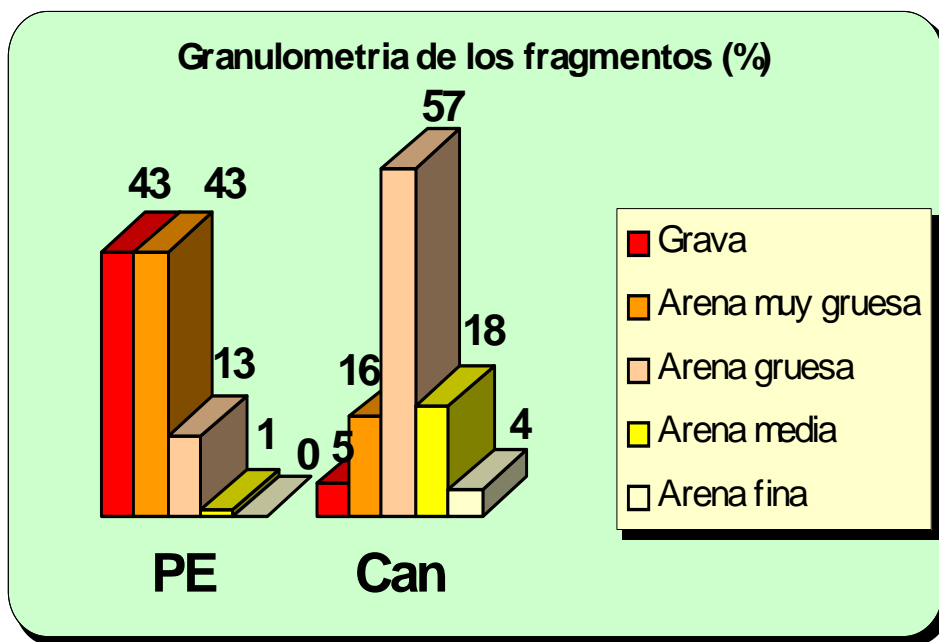


Fig. 7. Comparación entre las clases granulométricas de los fragmentos entre los yacimientos Puerto Escondido y Canasí

### Proveniencia

El estudio de la proveniencia de los fragmentos es un aspecto muy importante en el conocimiento de la naturaleza de una roca clástica y se realizó mediante el estudio de la bioestratigrafía descriptiva de los ditches que se realizaron en los fragmentos de las rocas del reservorio, permitió reconocer un grupo diverso de edades de los fragmentos. Estas edades se pueden generalizar en las siguientes categorías:

1. *Jurásico Superior-Cretácico Inferior*. Este grupo incluye las edades de todas las formaciones del Grupo Veloz (Fernández J, 1998). Debe destacarse, sin embargo, que en él se han incluidos solamente aquellos fragmentos que provienen de las Fms. Ronda y Cifuentes I-III (de ambiente de aguas profundas), que se corresponden con litotipos de wackestone bioclástico esencialmente. Se han excluido, por lo tanto, los fragmentos cuya proveniencia parece concurrir de la Fm. Cifuentes de edad Kimmeridgiano. Los bioeventos que caracterizaron este grupo en el presente estudio fueron calpionélidos calcáreos, *Cadosina sp*, *Crassicollaria sp*, *Colomisphaera sp* y moldes de radiolarios.
2. *Indeterminados (estériles o con moldes recrystalizados)*. Se incluyen aquí los fragmentos de mudstone calcáreo que no presentan fauna o que solamente tienen moldes recrystalizados no identificados. Debido a la experiencia acumulada por los autores, se conoce que este litotipo se corresponde generalmente con las rocas de la Fm. Cifuentes de edad Kimmeridgiano (Cifuentes IV-V) (Fernández J, 1998). Necesariamente hemos incluido en este grupo también aquellos fragmentos que, por su grado de recrystalización muy avanzada, no permiten establecer ninguna relación, ni aún litológica, con ninguna unidad litoestratigráfica conocida. Estos fragmentos constituyen algo más del 50% del total de los incluidos en este grupo.
3. *Indeterminados (con moldes de radiolarios recrystalizados)*. En esta categoría se encuentran aquellos wackestone bioclásticos que solamente poseen moldes de radiolarios muy recrystalizados, completamente carbonatizados, de edad indeterminada. Este litotipo es muy abundante, habiéndose reportado



- ampliamente tanto en las Fms. Ronda y Cifuentes I-III del Grupo Veloz, como en la Fm. Carmita, del Cretácico Medio y en unidades litoestratigráficas terciarias.
4. **Cretácico Medio.** Los fragmentos provenientes de la Fm. Carmita están incluidos en esta categoría, que se caracterizó por la típica asociación de *Globigerinelloides* sp y foraminíferos planctónicos globulares y planispirales. Litológicamente se trata de wackestone bioclásticos arcillosos de color oscuro, que son característicos de esta unidad litoestratigráfica.
  5. **Paleoceno-Eoceno.** Una amplia y característica asociación faunal permitió agrupar a estos fragmentos en esta categoría. Se describieron los grupos de nannopláncton calcáreo *Discoaster* spp, *Thoracosphaera* sp, *Sphenolithus* sp, *Chiasmolithus* spp, *Cruciplacolithus* sp y abundantes cocolitos del llamado "Grupo 1", asignados a esta edad. Estos bioeventos se acompañan frecuentemente con foraminíferos recristalizados de tipo quillado y globulares.
  6. **Cretácico-Terciario.** En este grupo se describieron nannopláncton calcáreo *Braarudosphaera* sp y foraminíferos planctónicos globulares y quillados. También son frecuentes los *silicoflagelados* y *diatomeas*, que tienen su mayor desarrollo en el límite K-T. Por su asociación de fósiles, estos fragmentos no pueden ser incluidos dentro de ninguna de las unidades del Grupo Veloz. Aunque alguno de los que tienen solamente foraminíferos planctónicos podrían relacionarse con la Fm. Carmita, es muy probable que realmente en su mayoría provengan de la erosión de rocas con edades cercanas a la base del Terciario.

Se puede observar que en las áreas de Canasí y Puerto Escondido existe, en rasgos generales, un panorama similar en cuanto a la proveniencia de los fragmentos de las rocas del reservorio. En ambas áreas predominan los fragmentos de edad indeterminada (Categoría 2) y son escasos los provenientes del Grupo Veloz y la Fm. Carmita (Categorías 1 y 4), aunque los primeros son más abundantes en Canasí. La diferencia más significativa se encuentra en la relativa abundancia de los fragmentos con edad Paleoceno-Eoceno (Categoría 5) en Puerto Escondido con relación a Canasí. (Fig.8)

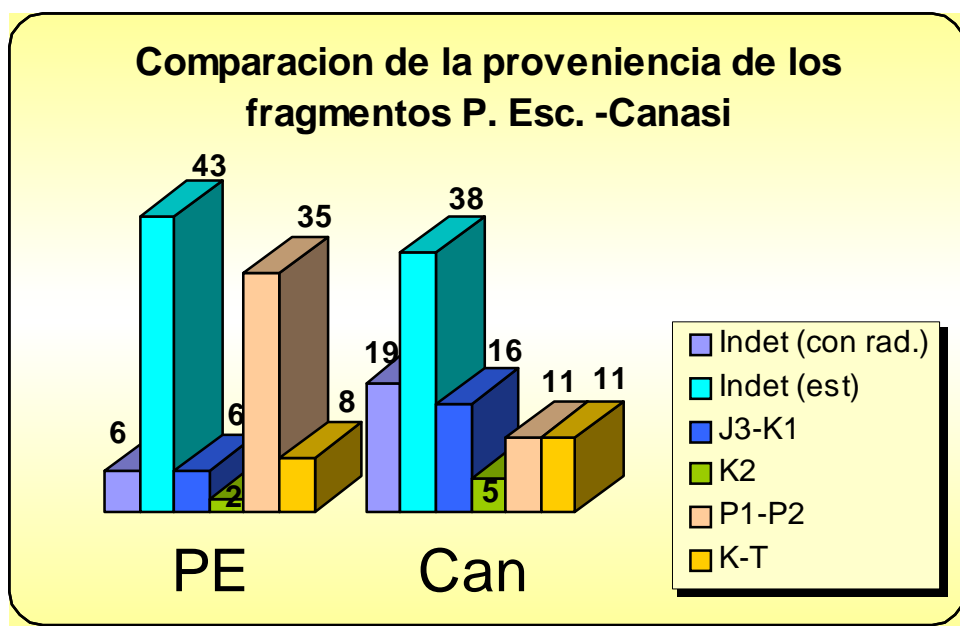


Fig. 8. Comparación de la proveniencia de los fragmentos de las rocas del reservorio entre las áreas de Puerto Escondido y Canasí



Se puede, entonces, esbozar las características geológicas de la fuente de aporte que suministró los fragmentos de las rocas del reservorio en estos yacimientos. Se trataba de un corte geológico donde afloraban las calizas del Grupo Veloz y quizás más al sur, las rocas de la Fm. Carmita. Estos sedimentos estaban cubiertos por rocas jóvenes de edad Terciaria. La mayor abundancia de éstas últimas en el yacimiento Puerto Escondido pudiera explicarse por la menor competencia al desgaste de éstas rocas, que para depositarse en ésta área tuvieron que recorrer una distancia menor que en el yacimiento Canasí, más distal.

Para finalizar, no debe olvidarse que este estudio se realizó solamente con muestras de cuttings, de manera que se discriminaron automáticamente los fragmentos de mayor tamaño, como guijas, guijarros, cantos y bloques. Estos fragmentos grandes, diferentes sin dudas por su propia naturaleza y proveniencia de los más pequeños, fueron objeto de especial atención cuando se estudiaron los núcleos de éstas áreas. Por éstas razones no debe sorprender que los resultados obtenidos al estudiar la proveniencia de los fragmentos por diferentes metodologías, aunque con notables similitudes, no sean absolutamente iguales.

## CONCLUSIONES

1. En las áreas de Puerto Escondido y Canasí predominan ampliamente los mudstone calcáreos en todas sus variedades como el litotipo mas difundido en los fragmentos. Le sigue en segundo lugar el wackestone bioclástico, mientras que el pedernal se encuentra en por cientos muy bajos.
2. Se obtienen las cinco clases fundamentales de redondeamiento *muy redondeado, redondeado, sub redondeado, sub angular y angular*.
3. En el área de Puerto Escondido existe un predominio de la clase subangular, con 54%, en segundo lugar la clase angular, con 21% y en tercer lugar la clase subredondeada, con 20%, las clases redondeada y muy redondeada solo están presentes en un 5% y 1% respectivamente. Esto denota que el material detrítico es muy inmaduro, sufrió un escaso transporte en un período de tiempo relativamente corto.
4. En el área Canasí predominan los fragmentos de la clase bien redondeado (39%), siguiéndole en orden decreciente la clase sub redondeado (31%, redondeado (16%) y sub angular (12%), estando la clase angular representada sólo en un 2%.
5. En el área Puerto Escondido se manifiesta un predominio de las clases arena muy gruesa y grava. En el área de Canasí, predomina la fracción granulométrica de arena gruesa y arena media, y también están presentes clases granulométricas más finas, cosa que no ocurre en Puerto Escondido.
6. Mediante el análisis granulométrico y el análisis de redondeamiento se puede afirmar que los sedimentos depositados en el área de Puerto Escondido son mucho más inmaduros desde el punto de vista textural (que los que se asentaron en el área de Canasí, lo que demuestra que la deposición en Canasí se efectuó en una posición más distal dentro de la cuenca.
7. En ambas áreas predominan los fragmentos de edad indeterminada y son escasos los provenientes del Grupo Veloz y la Fm. Carmita, aunque los primeros son más abundantes en Canasí. La diferencia más significativa se encuentra en la relativa abundancia de los fragmentos con edad Paleoceno-Eoceno en Puerto Escondido con relación a Canasí.



## BIBLIOGRAFÍA

- Pettijohn F. J. (1957). Sedimentary Rocks, Harper International Edition, Second Edition, 415 pag.
- Pettijohn F. J. (1966). Manual of Sedimentary Petrography, Appleton-Century-Crofts, 547 pag.
- Segura Soto, R. (1973). Introducción a la Petrografía, ediciones URMO, 208 pag.
- Hernandez L. J. et al (2002). Analisis Facial del Bloque Central del Yacimiento Boca de Jaruco, Inédito, Archivo CEINPET.





## BIOGEOGRAFÍA DE LOS RUDISTAS (MOLUSCOS CRETÁDICOS) REPORTADOS EN EL TERRITORIO CUBANO

**Reinaldo Rojas Consuegra**

*Museo Nacional de Historia Natural. Obispo 61, Plaza de Armas. La Habana. CP10100. Cuba.*

*E-mail: [rojas@mnhnc.inf.cu](mailto:rojas@mnhnc.inf.cu)*

### RESUMEN

Los Rudistas (moluscos bivalvos marinos) tuvieron un amplio desarrollo durante el Cretácico en el dominio del Tetis americano, y su extinción ocurrió al final del Cretácico. En el territorio cubano se revela la presencia de siete familias: Caprinidae, Polyconitidae, Radiolitidae, Hippuritidae, Plagiophychidae, Requihiidae, Antilocaprinidae. Contienen fauna de Rudistas de diferentes edades, a saber: Unidades del Margen Continental de Norteamérica (Megaplataforma Florida – Bahamas del Aptiano Inferior, Plataforma de Bahamas del Albiano Superior y Maastrichtiano), de Arcos Volcánicos (Albiano Medio - Superior, Santoniano y Campaniano Inferior- Medio), Cuencas postvolcánicas o Piggy Back (Campaniano Superior a Maastrichtiano) y del Límite Cretácico – Terciario (K/T). La fauna de Rudistas que evolucionó y se diversificó en la paleoprovincia del Tetis americano lo hizo fundamentalmente en relación con un contexto paleogeográfico de arcos volcánicos. Se demuestra la importancia de los Rudistas como una útil herramienta en la estratigrafía, la biocorrelación y la paleogeografía del Cretácico en la región antillano-caribeña.

### ABSTRACT

The rudists were marine bivalve molluscs, of sessile life habits, with one valve attached to the substrate and of variable shape and size. They reached their acme during the Cretaceous, in the Tethyan Realm, becoming extinct at the Cretaceous/Tertiary boundary. Seven families are recorded from Cuban territory (Caprinidae, Polyconitidae, Radiolitidae, Hippuritidae, Plagiophychidae, Requihiidae, Antilocaprinidae), comprising 31 genera and some 49 species – a diversity comparable to that of other Caribbean areas. The palaeobiogeographical focus provides insights on the palaeogeographical arrangement of the American Tethys and the Caribbean volcanic arcs in the Cretaceous and the colonization of different settings in different stages in the geological evolution of the Antillean and Caribbean region. Possible immigration from the European Tethys and migration to the Eastern Hemisphere are indicated. Correlation is established between the different terranes that contain the Caribbean rudist fauna. The importance of rudists as a useful stratigraphical tool for biocorrelation and palaeogeographical reconstruction of the Cretaceous in the Antillean-Caribbean region is thus demonstrated.



## INTRODUCCIÓN

La Paleobiogeografía se ocupa de la distribución geográfica de los organismos del pasado, para lograr este fin es imprescindible tener en cuenta la Paleogeografía de la etapa analizada. La Taxonomía, por su parte, proporciona la base para el análisis del desarrollo del grupo. Aquí se conjugan ambas ramas para tratar la fauna de Rudistas presente en Cuba, uno de los grupos fósiles más común en el Cretácico caribeño.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La compilación de las localidades con presencia de la fauna de Rudistas en el territorio cubano, y el resto de la región americana, permitió llegar a establecer la Corología de este grupo fósil cretácico. Esta información conjugada con la Paleogeografía cretácica de la región (según Iturralde-Vinent, 2004) facilitó la confección de los mapas de distribución biogeográfica de los géneros de Rudistas para las diferentes edades.

El análisis de la distribución de las distintas asociaciones fósiles en la región muestra no sólo la correlación entre terrenos y áreas, sino también las probables etapas de poblamiento y desarrollo de las diferentes faunas de Rudistas y su relación con la evolución geológica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se analiza la conquista de los diferentes dominios paleogeográficos, donde se establecieron los Rudistas a lo largo del Cretácico, y que se reconocen hoy en el substrato geológico del territorio cubano. Se muestra su uso como herramienta de biocorrelación.

### Margen Continental de Norteamérica

Durante el Aptiano la prolongación del mar de Tetis hacia el Oeste estaba consolidada, determinada como un corredor marino de dirección aproximadamente ecuatorial, limitada en su margen septentrional por el subcontinente Laurasia y en la meridional por Gondwana (Iturralde-Vinent, 1998, 2004), (Fig. 1).

Las costas continentales tetisianas, sus plataformas y taludes, eran bañadas por la corriente marina circum-ecuatorial que fluía de oriente a occidente, cargando consigo los organismos marinos o sus larvas, como ocurría con los Rudistas. Estos organismos bentónicos sésiles ocupantes de fondos someros, se trasladaban superando las barreras marinas (geográficas, topográficas, hidrológicas, sedimentológicas, etc.). Así aparece la primera fauna de Rudistas en nuestra región procedente del Tetis europeo, y comienza su radiación adaptativa y diversificación.

Ya en el Cretácico inferior (?Hauteriviano – Barremiano - ?Aptiano Inferior) aparecen los primeros Caprínidos, representados por el género *Retha*, y probablemente *Amphitriscoelus* (forma primitiva), (Skelton y Masse, 1998; 2000), en secuencias de arco volcánico, en la isla de Jamaica (Chubb, 1971). Este terreno jamaicano parece tener un origen pacífico, relacionado con el sistema de arco volcánico de la margen pacífica del oeste de Laurasia (Pindell y Barret, 1990).

Estos taxones están presentes además en el Terreno volcánico de Guerrero en México, del margen del Pacífico, formando litosomas de Rudistas intercalados con secuencias



volcanoclásticas y siliciclásticas de retroarco, en ambiente de lagunas internas (Alencáster y Pantoja – Alor, 1995, 1998), (Fig. 1).

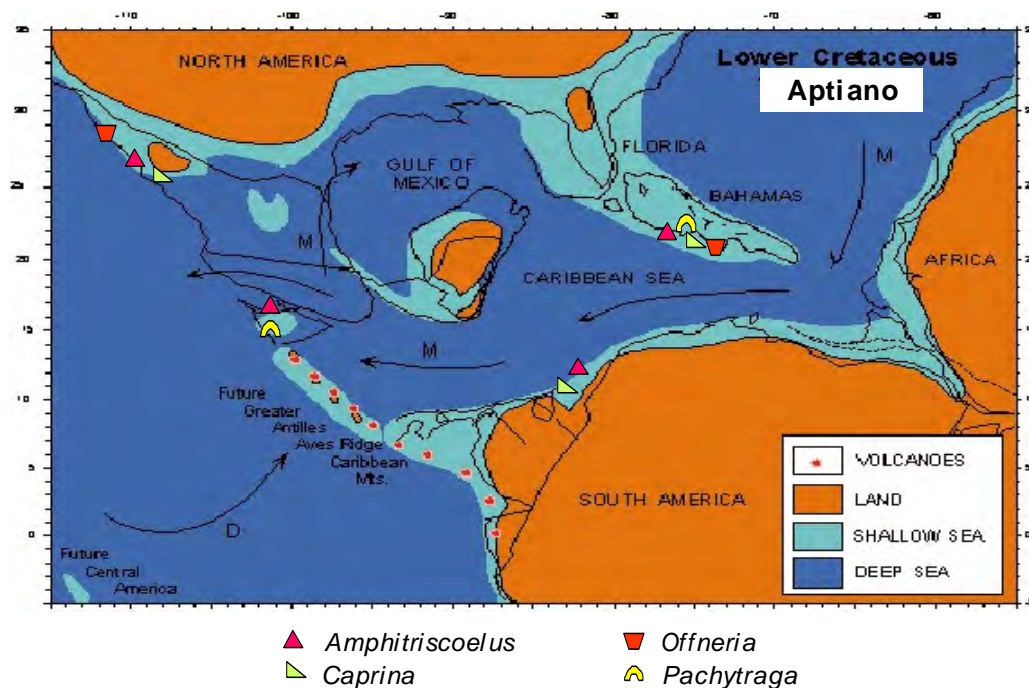


Figura 1 Distribución de los Rudistas reportados en Cuba según la paleogeografía de la región caribeña durante el Aptiano temprano.

### Megaplataforma Florida – Bahamas

En el Aptiano inferior hace aparición una primera fauna de Caprínidos en la Megaplataforma Florida – Bahamas, la más antigua que se conoce en Cuba (Gibara), representada por cuatro géneros: *Amphitriscoelus*, *Caprina*, *Pachytraga* y *Offneria* (Rojas *et al.*, 1995).

Esta fauna se extendió a ambos márgenes del Tetis, pues se conoce además en la isla de Trinidad (Harris y Hodson, 1922), al noreste de Venezuela, en Texas en el sureste de los Estados Unidos de América (Scott, 1990; 2002), y en el suroeste de México, dentro de secuencias volcanoclásticas y siliciclásticas (Alencáster y Pantoja - Alor, 1995; 1998; Pantoja - Alor, 1999; Pantoja - Alor *et al.* 1999), (Fig. 1).

Al menos una especie de *Amphitriscoelus* (*A. waringi*) es un endémico americano (Skelton, 1982; Alencáster y Pantoja - Alor, 1995, 1998; Pantoja - Alor y Skelton, 1999), devenido posiblemente de su ancestro *Retha tulae* (Skelton y Masse, 1998) de Jamaica (Chubb, 1971). Ocupó, además ambas márgenes continentales del Tetis americano, las áreas de lagunas de retroarco pacíficas del oeste norteamericano.

Tabla I Diversidad taxonómica de los Rudistas por edades, y su presencia en las diferentes Unidades Tectono-estratigráficas cubanas.

Taxones	Edad					Unidad tectono-estrigráfica			
	K1		K2						
Familia y Género	Ap	Al	St	Cp	M	MPFB	PB	AVC	CPB
<b>Caprinidae</b>	1 (4)	1(7)							
<i>Amphitriscoelus</i>	1 (1)*					x			
<i>Caprina</i>	1 (1)					x			
<i>Offneria</i>	1 (1)					x			
<i>Pachytraga</i>	1 (1)					x			
<i>Caprinuloidea</i>		1 (3)						X	
<i>Coalcomana</i>		1 (1)						X	
<i>Kimbleia</i>		1 (1)						X	
<i>Mexicaprina</i>		1 (1)						X	
<i>Texicaprina</i>		1 (1)						X	
<b>Polyconitidae</b>		1 (1)							
<i>Tepeyacia</i>		1 (1)						X	
<b>Radiolitidae</b>		1 (1)	1 (2)	4 (8)	8 (15)				
<i>Eoradiolites</i>		1 (1)					x		
<i>Durania</i>			1 (2)					X	
<i>Biradiolites</i>				1 (4)	1 (7)		x	X	x
<i>Bournonia</i>				1 (2)	1(2)			X	x
<i>Chiapasella</i>				1 (2)	1 (1)			X	x
<i>Tampsia</i>					1 (1)				x
<i>Macquillavryia</i>				1 (1)	1 (1)			X	x
"Radiolites"					1 (1)				x
<i>Sauvagesia</i>					1 (1)				x
<i>Thyrastylon</i>					1 (1)				x
<b>Hippuritidae</b>			1 (2)	5 (6)	4 (5)				
<i>Vaccinites</i>			1 (1)	1 (1)				X	
<i>Torrentes</i>			1 (1)	1 (1)				X	
<i>Praebarrettia</i>			1(1)	1 (1)	1 (2)			X	x
<i>Barrettia</i>				1 (2)	1 (1)			X	
<i>Parastroma</i>				1 (1)	1 (1)			X	x
<i>Hippurites</i>					1 (1)				x
<b>Plagioptychidae</b>			1 (1)	1 (1)	1 (1)				
<i>Plagioptychus</i>			1 (1)	1 (1)	1 (1)		x	X	x
<i>Mitrocaprina</i>					1 (3)		x		x
<b>Antillocaprinidae</b>				1 (1)	2 (6)				
<i>Antillocaprina</i>					1 (3)		x	X	x
<i>Titanosarcolites</i>				1 (1)	1 (3)		x	X	x
<b>Requieniidae</b>					1 (1)				
<i>Apricardia</i>					1 (1)				x



\* Primera cifra - número de géneros y, cifra entre paréntesis- número de especies. MPFB – Mega plataforma Florida-Bahamas, PB – Plataforma de Bahamas, AVC – Arco volcánico cretácico y CPB – Cuencas de Piggy Back.

En facies y ambientes similares a los descritos debieron haberse formado los litosomas de Rudistas, dominados por Caprinidos *recumbents* (*P. paradoxa*, *A. waringi*, *C. douvillei* y *O. cf. interrupta*), conocidos de la Megaplataforma Florida – Bahamas en Cuba (Tabla I), habitando facies de *grainstone* – *packstone* en bancos detríticos de márgenes de plataforma externa, con taludes fallados, en medios de alta a moderada energía (Rojas *et al.*, 1995; Skelton y Rojas, 1998).

### Plataforma de Bahamas

Durante el Albiano medio, en áreas más protegidas de las plataformas se acumularon biostromas de *Eoradiolites* (Radiolítido) de más de 3.5 metros de potencia (Höfling y Scott, 2002). Individuos de este género se han encontrado en las secuencias carbonatadas de la Plataforma de Bahamas al norte de Cuba (Fm. Palenque) (Tabla I), por lo que se deduce la existencia de estos medios protegidos en aquel ambiente de margen de plataforma. (modelos en: Scott, 1990; Ross y Skelton, 1993; Masse *et al.*, 1998; Höfling y Scott, 2002).

Durante el Maastrichtiano en el margen continental norteamericano, se consolidan facies de ambiente marino somero en la plataforma carbonatada, propiciando condiciones favorables para el establecimiento de la fauna de *T. giganteus*, donde participan Antilocapridos (*Titanosarcolites* y *Antilocaprina*), Radiolítidos (*Biradiolites*) y Plagioptriquidos (*Mitrocaprina*). La presencia de estos taxones en esta región paleogeográfica muestra la homogeneización de la fauna de Rudistas en toda la cuenca del Tetis americano a finales del Maastrichtiano (Fig. 2).

### Arcos Volcánicos

Durante el Albiano medio – tardío se consolida el arco volcánico caribeño, que aportó nuevos territorios que hicieron posible la diversificación de los biotopos marinos someros, con condiciones ambientales variables debido a la intensa evolución geodinámica en proceso (vulcanismo, recesos, aumento de áreas, destrucción, fallamiento, etc.), (Iturralde – Vinent, 1998, 2004; Pindell y Barrett, 1990).

En tales condiciones ambientales son colonizados los mares someros de las islas volcánicas caribeñas, incluido el suroeste mexicano, por una nueva fauna de Rudistas Caprinidos (*Coalcomana*, *Caprinuloidea*, *Mexicaprina*, *Kimbleia*, *Texicaprina*) y Polyconítidos (*Tepeyacia*), de morfotipo *recumbent* predominantemente, con formas endémicas de la provincia paleobiogeográfica del Tetis americano (Fig. 2, Tabla I).

El manifiesto endemismo de los taxones americanos indica la pérdida de la comunicación marina entre el Tetis europeo y el americano, mostrando el surgimiento de una efectiva barrera biogeográfica (oceanográfica-hidrológica), que hizo imposible el paso exitoso, de las larvas de los Rudistas, de una región a otra.

Los litosomas de Rudistas *recumbents* se desarrollaron probablemente en áreas de alta energía, donde se acumularon cuerpos de carbonatos de relativamente poco espesor, 40 - 60 m de potencia y una extensión lateral de centenas de metros, raramente de escasos kilómetros de longitud (Rojas, 1999, 2000).





En el Albiano medio ocurrió un descenso del nivel del mar, con formación de karst, mientras los clinoforras del talud consistían de debritas de bioclastos y litoclastos; corales redepositados, Rudistas caprínidos y caprotínidos, chondrodontes, esponjas, comúnmente moluscos, lo cual indica la presencia de las asociaciones de coral – Rudistas en el talud somero. Los Caprínidos *recumbents* ocuparon las partes altas de los biohermos, junto a corales ramificados, en el margen de las plataformas en medios de relativamente alta energía (Höfling y Scott, 2002).

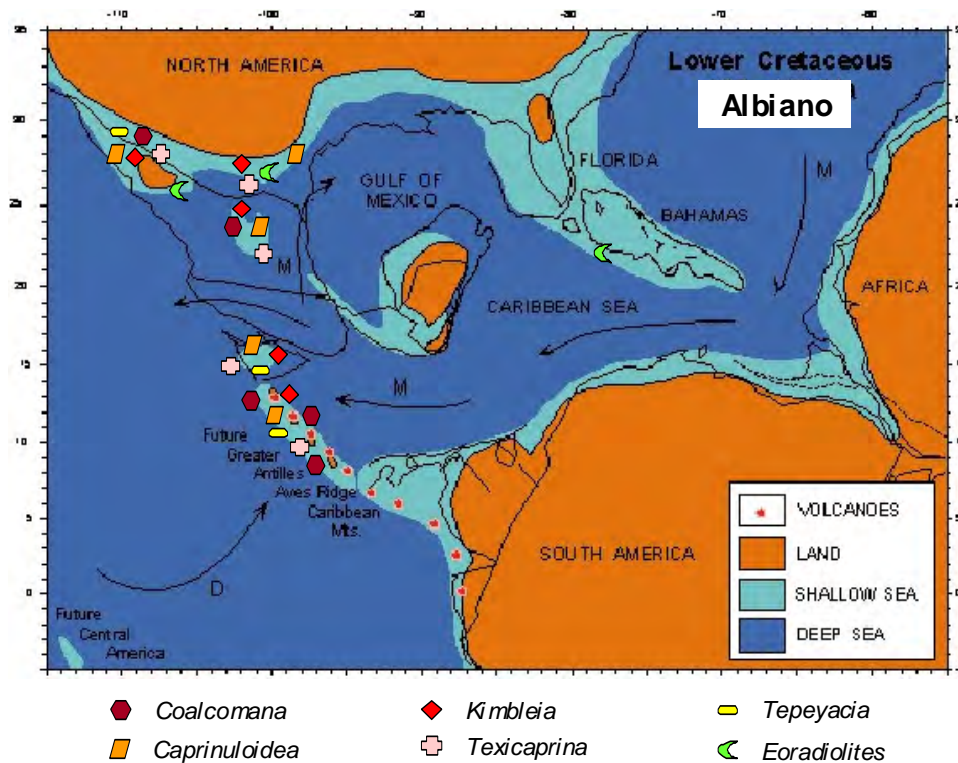


Figura 2 Distribución de los Rudistas reportados en Cuba según la paleogeografía de la región caribeña durante el Albiano.

En el terreno del arco volcánico en Cuba existen potentes acumulaciones (500 – 800 m) de conglomerados y otras rocas detrítico-arcillosas (Fm. Contramaestre, Tchounev, 1976), cuyo origen podrían relacionarse con esta etapa, donde debió prevalecer una intensa erosión de las vulcanitas durante el nivel bajo del mar.

Los principales litosomas y cuerpos de carbonatos por su potencia, se conocen de la Fm. Hatillo, en la Española y Fm. Provincial, en Cuba. En esta última los carbonatos están constituidos por depósitos secundarios de megaturbiditas y debritas, con Caprínidos (*C. ramosa*) reelaborados y resedimentados (Rojas, 2001; 2004).

Durante el Albiano medio de México, rampas y plataformas aisladas fueron los sitios dominados por los Rudistas, en promontorios aislados del margen del *shelf* (Scott, 1990). En la plataforma El Abra (México) los biohermos consistentes de especies del *recumbent* Caprinuloidea (*C. perfecta* y *C. multitubifera*) y el *elevator Mexicaprina*, ocupan facies de *grainstone* y *packstone*, junto a requiénidos, radiolítidos y corales, en el margen de la plataforma (Höfling y Scott, 2002).





Las tres especies de Caprínidos antes mencionados están presentes también en el arco volcánico antillano (Fm. Guáimaro, Fm. Guaos), mostrando la existencia de ambientes comparables, con predominio de *recumbents* en facies de alta energía (Fig. 2).

En el Santoniano la expansión del Tetis americano era mayor, y el arco volcánico antillano en su desplazamiento hacia el este había penetrado más profundamente en el espacio interior entre los continentes de Gondwana y Norteamérica, formando una cresta de bajos e islas volcánicas entre ambos territorios (Pindell y Barrett, 1990; Iturralde-Vinent, 1998).

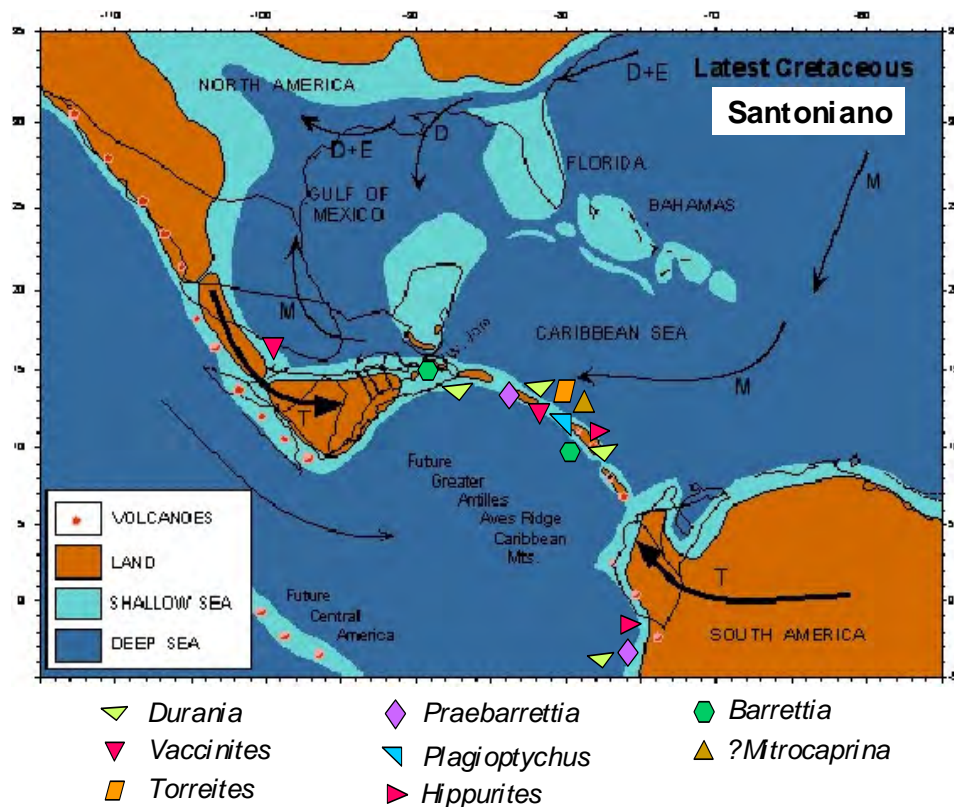


Figura 3 Distribución de los Rudistas reportados en Cuba según la paleogeografía de la región caribeña durante el Santoniano.

En este momento parece haber disminuido la intensidad del vulcanismo (Iturralde-Vinent, 1996), a juzgar por la aparición de un corto, pero extenso evento de reestablecimiento de los litosomas de Rudistas y la producción de depósitos de carbonatos (Santos y Skelton, 1996; Rojas, 1999, 2000).

En el ambiente de microplataformas carbonatadas formadas en el arco volcánico se desarrollaron asociaciones de Hipurítidos (*Praebarrettia*, *Barrettia*, *Vaccinites*, *Hippurites*), Radiolítidos (*Durania*) y Plagiopitíquidos (*Plagioptychus*, *?Mitrocaprina*), junto a algas y escasos corales, en medios muy someros (Fig. 3, Tabla I).

Durante el Santoniano surgen las nuevas formas antillanas de Hipurítidos endémicos: *Praebarrettia*, *Barrettia* y *Torreites*. Para esta fauna se han propuesto diferentes ancestros en



formas europeas, pero es un hecho la ocurrencia de una especiación caribeña, con endémicos locales (*T. tschoppi*), o regionales restringidas (*P. corrali*). Además, otros géneros de Hipurítidos (*Vaccinites*, *Hippurites*), Radiolítidos y Plagioptríquidos conocidos del Tetis europeos, desarrollan formas específicas endémicas americanas (*V. macgillavryi*, *P. antillarum*, *D. curasavica*). También surgen formas muy locales, como el Radiolítido *D. lopeztrigoi* (sólo de Loma Yucatán, Cuba), (Tabla I).

Algunas formas de Hipurítidos parecen haber alcanzado el Tetis americano provenientes del Tetis europeo durante el Cenomaniano – Huroniano. Ha sido reportado *Vaccinites* del Turoniano tardío en el sureste de México, y parece estar representado por especies europeas (*V. praegiganteus*, *V. grossouvrei*, *V. gosaviensis*), (Alencáster *et al.*, 1987).

La situación paleogeográfica general del arco volcánico antillano durante el Campaniano, era muy parecida a la del Santoniano (Pindell y Barrett, 1990; Iturralde-Vinent, 1996; 1998). No obstante, algunas diferencias se deducen del mayor desarrollo que alcanzaron los depósitos de carbonato y los litosomas de Rudistas, y de la estratigrafía de las secuencias donde estos se encuentran emplazadas (Iturralde-Vinent, 1996; Rojas, 1999, 2000), (Fig. 4, Tabla I).

Los abundantes cuerpos de carbonatos y litosomas de Rudistas, acumulados durante el Campaniano en el AVC, presentan potencias variables, generalmente desde unos pocos metros a más de 60 m, pero algunos cuerpos llegaron a alcanzar entre 100 y 300 m. (ej. Cantera Las Parras y Mir, en la provincia de Las Tunas).

Los Rudistas Plagioptríquidos e Hipurítidos se mantienen en el arco volcánico, estos últimos representados por los mismos géneros que durante el Santoniano (*Barrettia*, *Torreites* y *Vaccinites*, ?*Praebarrettia*), pero con nuevas especies. Continúa la diversificación, surge un nuevo Hipurítido más especializado (*Parastroma*), un endémico caribeño, con especies autóctonas locales, que no parecen haber alcanzado ni siquiera las márgenes continentales o no pudieron establecerse.

Durante la etapa del arco volcánico maduro, parece haber prevalecido un nivel del mar relativamente bajo en todo su dominio, lo que determinó el establecimiento de condiciones ambientales propias de lagunas internas (parecidas al ambiente retroarrecifal), ampliamente extendidas, favoreciendo el desarrollo de los Hipurítidos y la fauna acompañante, lo cual devino en un máximo en la productividad de carbonatos y litosomas de Rudistas intravolcánicos (ej. Fm. Piragua, en Camaguey y Fm. Hilario, en Villa Clara).

Los Rudistas Radiolítidos se hacen muy diversos, se establecen nuevos géneros, como *Biradiolites*, *Macgillavryia*, *Bournonia*, *Tampsia*, *Chiapasella* y *Radiolites*. Entre ellos hay varias especies endémicas americanas, mientras otros son géneros exclusivos americanos (*Macgillavryia*, *Tampsia* y *Chiapasella*), con especies al parecer localmente restringidas.

La diversificación de los biotopos, de facies en condiciones ambientales más variadas, favoreció el desarrollo de una nueva familia, los Antilocaprínidos (*Titanosarcolites* y ?*Antillocaprina*), con morfotipos paleoecológicas de *recumbents* a *semirecumbents*, (Fig. 4). Esta fauna parece que ya había surgido durante el Santoniano, según se reporta de Puerto Rico (Santos y Skelton, 1996).

En algunos lugares del territorio del AVC, se observan litosomas de Rudistas bien conservados, con asociaciones fósiles in situ, de individuos en posición de vida o parautóctonos. Estas biofacies constituidas en más de 80 % por conchas de Hipurítidos (*B. monilifera* y *B. multilirata*)



fueron sepultadas por grandes volúmenes de productos aportado por la actividad volcánica media a distal (tobas y tufitas), sin que mediaran cambios significativos del nivel del mar. (Ej. Localidades de Camino de Maraguán, Las Parras, Mir, y numerosas otras en las provincias de Camagüey y Las Tunas).

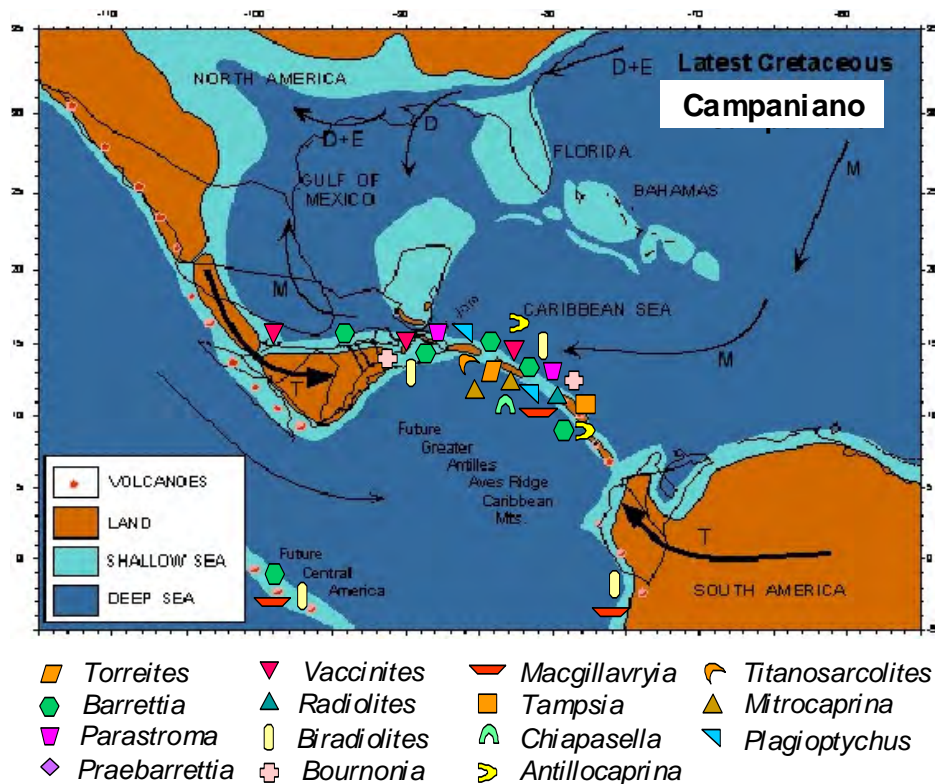


Figura 4 Distribución de los Rudistas reportados en Cuba según la paleogeografía de la región caribeña durante el Campaniano temprano.

Como se muestra, durante el Campaniano temprano a medio - tardío, el territorio del arco volcánico antillano presentaba un relieve montañoso, con elevaciones intermitentes, rodeadas de una cuenca marina irregular, con medios muy variados en el ambiente marino somero.

En los *shelf* siliciclásticos, la disposición facial permitía que los Hipurítidos *elevators* (solitarios o en clusters) se emplazaran sobre el sustrato de conglomerados, gravas y arenas lodosas, formando litosomas de variadas dimensiones en condiciones de moderada a baja energía, y tasa de deposición de baja a alta (a juzgar por los gigantescos tamaños que alcanzaron).

Llamativos casos en la dispersión del Hipurítido caribeño *Torreites* han sido reportados (Skelton y Wright, 1987; Skelton, 1988; Philip y Platel, 1998; Philip, 1999), donde una especie del género campaniano *Torreites* (*T. sanchezi* = *T. s. milivanovici* Grubic) logró rebasar con éxito el Océano Pacífico y arribar a la Península Arábig (Omán), en el Campaniano – Maastrichtiano.

Para *Vaccinites* se ha propuesto, en base a una hipótesis filogenética, una vía de dispersión en sentido contrario, desde la Península Arábig a través del Océano Pacífico hasta el Caribe (Simonpietri, Philip y Platel, 1998). Por otro lado, Pons *et al.*, (1992) también indican la similitud de la fauna campaniana de Rudistas de Somalia con la caribeña, mencionando a *V. magillavryi*;

**Latest Cretaceous Maastrichtiano**

**Legend:**

- VOLCANOES (Red star symbol)
- LAND (Brown)
- SHALLOW SEA (Light blue)
- DEEP SEA (Dark blue)

**Fossil Taxa:**

- Praebarrettia* (Purple diamond)
- Radiolites* (Green triangle)
- Macgillivrya* (Red triangle)
- Antillocaprina* (Yellow crescent)
- Barrettia* (Green hexagon)
- Biradiolites* (Yellow rectangle)
- Tampsia* (Orange square)
- Titanosarcrites* (Orange crescent)
- Parastroma* (Pink square)
- Bournonia* (Pink cross)
- Chiapasella* (Green crescent)
- Mtrocaprina* (Yellow triangle)
- Hippurites* (Pink triangle)
- Sauvagecia* (Red triangle)
- Tyroasthylon* (Light blue triangle)
- Plagiocythrus* (Blue triangle)
- Apicardia* (Green circle)

10





mar somero, donde surgen ambientes muy variados, favorables al florecimiento de la fauna bentónica, produciéndose una amplia diversificación de los Rudistas caribeños y americanos.

El número de especies de Rudistas alcanza su máxima cantidad en esta etapa. Están presentes las mismas familias que durante el Campaniano, compuestas casi por los mismos géneros, pero desaparecen varias especies y surge un mayor número de especies nuevas.

En general, la fauna de Rudistas del Maastrichtiano tiene un carácter más homogéneo en su distribución, los taxones son muy similares en todas las áreas que ocuparon del Tetis americano, tanto en las márgenes continentales como en las islas antillanas; y hasta algunos de sus componentes alcanzaron las costas arábicas, superando el Pacífico.

A juzgar por el predominio de las especies de Hipurítidos y Radiolítidos con el morfotipo *elevator* entre la fauna maastrichtiana de Rudistas, se puede inferir la existencia de ambientes con acumulación sedimentaria positiva, con medios de moderada a relativamente baja energía, aunque se deduce por el gran tamaño de algunas especies (*P. guitarti*, *B. multilirata*, *P. sparcilirata*) la permanencia de áreas de muy alta tasa de acumulación.

Durante el Maastrichtiano tardío, se desarrollaron predominantemente las plataformas carbonatadas someras, con variados medios, pobladas por una exuberante y diversa fauna marina bentónica (Rojas, 1998), (Fig. 5, Tabla I). Sólo hacia la región occidental, se han preservado depósitos que se desarrollaron en un ambiente de plataforma siliciclástico-carbonatada somera, probablemente abierta en forma de rampa hacia el interior de la cuenca (Rojas y Núñez, 1997).

Los resultados de la variación de isótopos de  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  en carbonatos de Jamaica (*Guinea Corn Formation*), muestra que su formación ocurrió esencialmente durante el Maastrichtiano tardío, hasta prácticamente el límite Cretácico - Terciario (Steuber *et al.*, 2002).

## Correlación bioestratigráfica

Tabla II Principales asociaciones fósiles determinadas en Cuba, correlacionables a escala regional y global.

Asociaciones Fósiles (AF)	Nivel estratigráfico	Unidad tectono-estratigráfica	Distribución regional
<i>A. waringi</i>	Aptiano Inferior	MPBF	Antillas, Norte y Sur América, Europa
<i>Eoradiolites sp.</i>	Albiano	PB	Antillas, Norteamérica
<i>T. corrugata</i>	Albiano Medio-Superior	AVC	Antillas, México
<i>D. curasavica</i>	Santoniano	AVC	Antillas, Sur América, ?México
<i>B. monilifera</i>	Campaniano Infer.-Medio	AVC	Antillas, Améric. Central, México
<i>T. giganteus</i>	Campan. Sup. - Maastrichtiano	CPB, PB	Antillas, Améric. Central, México

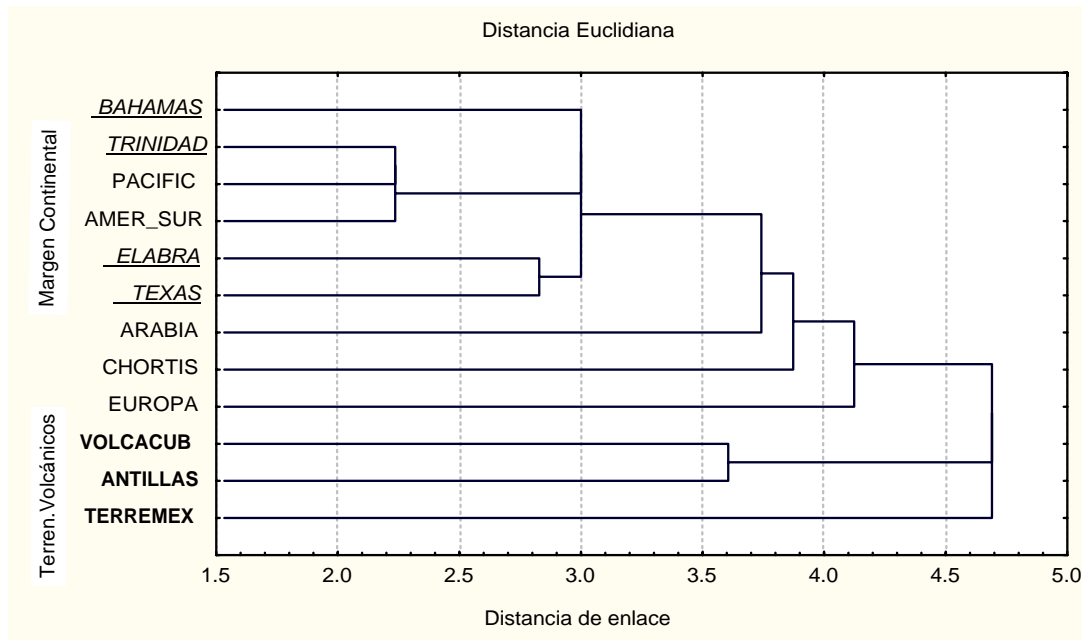
Leyenda: MPBF – Megaplataforma Bahamas – Florida; PB – Plataforma de Bahamas; AVC – Arco Volcánico Cretácico; CPB – Cuencas de Piggy Back.



Como se comprueba, la fauna de Rudistas aparece ampliamente distribuida en todo el territorio cubano, constituyendo distintas asociaciones faunales, que marcan varios niveles estratigráficos, siendo un útil instrumento de correlación estratigráfica (Tabla II). La fauna de Rudistas en cada unidad estratigráfica se diferencia una de otra, a tal punto que estas últimas se separan claramente entre sí, o se define su similitud.

Desde este punto de vista se han identificado seis asociaciones fósiles (AF) principales, las cuales se denominan convencionalmente, según el nombre científico de una de sus especies guías, como en trabajos anteriores (Iturralde-Vinent y Torre, 1990; Skelton y Rojas, 1998; Rojas, 1999; 2000).

Como puede observarse (Tabla II) las AF comprenden conjuntos de especies, las cuales han sido reportadas de otras localidades, tanto de nuestra región como de otras regiones del mundo. Este hecho ha estado determinado por sus orígenes, migración, evolución y diversificación, en relación directa con la evolución geotectónica del planeta (migración de placas, surgimiento, desarrollo y extinción de sistemas de arcos volcánicos, colapso de plataformas, actividad de fallas transformantes, etc.).



Leyenda: Fauna de Rudistas reportada en las áreas o regiones utilizadas en el análisis: BAHAMAS -Gibara, Holguín; TRINIDAD - Isla de Trinidad, N. Venezuela; PACIFIC. - Paleoprovincia del Pacífico; AMER\_SUR - Sudamérica; ELABRA - Fm. El Abra, México; TEXAS - Texas, E. U.; ARABIA - Península Arábiga; CHORTIS - Centroamérica; EUROPA - Tetis Europeo y Noráfrica; VOLCACUB - Arco volcánico en Cuba; ANTILLAS - Demas Antillas; TERREMEX - Terrenos volcánicos de México.

Figura 6 Dendrograma que muestra las relaciones entre las márgenes continentales y arcos volcánicos durante el Cretácico, según la fauna de Rudistas presente en la región.

Ello explica, como puede comprobarse, la correlación de las AF a diferentes escalas, local, regional o global. Como se manifiesta, las unidades que contienen las AF reconocidas se correlacionan tanto en el territorio cubano, como en la región antillano-caribeña (Fig. 6). Esto además, sirve de guía para intentar refinar la correlación de eventos entre los distintos dominios paleogeográficos de la región.





## CONCLUSIONES

En la zona de Remedios (Margen Continental de Norteamérica) existen tres niveles faunales distintos de diferentes edades. Durante el Aptiano temprano se desarrollaron facies de lagunas y bancos detríticos someros, en la margen externa de una plataforma carbonatada, la cual fue poblada por los Caprínidos (*Amphitriscoelus*, *Pachytraga*, *Offneria* y *Caprina*); la primera fauna de Rudistas que arribó al Tetis americano procedente del Tetis europeo.

En el Albiano tardío aparece en la Plataforma de Bahamas el género *Eoradiolites*, que habitó las márgenes de las plataformas carbonatas. En el Maastrichtiano una nueva y diversa fauna de Antilocaprínidos (*Titanosarcolites*, *Antillocaprina*), Radiolítidos (*Biradiolites*) y Plagiophtíquidos (*Mitrocaprina*) repobló el margen de la plataforma continental, ocupando facies de laguna interna, bancos detríticos y promontorios aislados, con una amplia extensión.

En el dominio de arco volcánico se conocen tres niveles de fauna de Rudistas. Durante el Albiano medio – tardío se desarrollaron facies detríticas donde se estableció una primera fauna de Caprínidos (*Coalcomana*, *Caprinuloidea*, *Kimbleia* y *Texicaprina*) y Polyconítidos (*Tepeyacia*), originándose las primeras microplataformas; esta fauna ocupó además las márgenes continentales de Norteamérica.

Durante el Santoniano se desarrollaron nuevamente las microplataformas y *shelf* siliciclásticos, siendo colonizados por una nueva y más diversa fauna de Rudistas como, Hipurítidos (*Praebarrettia*, *Barrettia*, *Torreites*, *Vaccinites* e *Hippurites*), Radiolítidos (*Durania*) y Plagiophtíquidos (*Plagiophtychus* y ?*Mitrocaprina*); esta especializada fauna es habitante casi exclusiva de los ambientes asociados al arco volcánico. Es probable que haya ocurrido también algún arribo de fauna procedente del Tetis europeo.

En el Campaniano temprano – medio alcanza un mayor desarrollo la formación de las microplataformas carbonatadas con litosomas de Rudistas en las cuencas intramontanas del arco volcánico, que exhiben una más alta diversificación con el surgimiento de taxones más especializados y mayor endemismo. Hace aparición una nueva familia (Antilocaprínidos), se establecen nuevos taxones (*Macgillavryia*, *Tampsia*, *Bournonia*, *Chiapasella*, *Biradiolites*, *Radiolites* y ?*Antillocaprina*). Las especializadas especies de Hipurítidos (de *Barrettia* y *Parastroma*) son los más exitosos, formando abundantes litosomas. Algunas especies caribeñas alcanzaron el hemisferio oriental pasando a través del océano Pacífico.

Durante el Campaniano tardío – Maastrichtiano, tras la extinción del arco volcánico, se estabiliza el más amplio desarrollo de las plataformas calcáreas en el área antillana con muy variados biotopos. La fauna de Rudistas alcanza la máxima diversidad en su historia evolutiva. Surgen dos nuevos géneros (*Thyrastylon* y *Chiapasella*) y aparecen en la región otros dos (*Sauvagesia* y *Apricardia*), descendiendo el desarrollo de los Antilocaprínidos (*Titanosarcolites* y *Antillocaprina*) y los Radiolítidos. Pero desaparecen algunos Hipurítidos (*Torreites* y *Vaccinites*) que no poseían repliegues secundarios (multipliegues). En general, la fauna se hace más homogénea en el Tetis americano.

En el territorio cubano se identifican cuatro asociaciones de Rudistas: *A. waringui* (Aptiano – en la Megaplataforma Florida – Bahamas), *C. ramosa* (deducida), *T. corrugata* (Albiano, Santoniano y Campaniano – en el Arco Volcánico) y *T. giganteus* (Campaniano tardío – Maastrichtiano – en las Cuencas postvolcánicas) correlacionables con niveles isócronos en otros terrenos antillanos y caribeños.



## BIBLIOGRAFÍA

- Albear, J. F. de, 1947. Stratigraphic paleontology of Camagüey district, Cuba. AAPG Bull., 31(1) : 71-91.
- Alencáster, G. y J. Pantoja-Alor, 1995. New early aptian rudist (Bivalvia-Hippuritacea) from the Huetano area in southwestern Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 12 (2) : 123-134.
- Alencáster, G. y J. Pantoja-Alor, 1998. Two new Lower Cretaceous rudists (Bivalvia-Hippuritacea) in the Huetamo Región of Southwestern México. En: Congrès International sur les Rudistes (4 : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Mém. sp. 22. -- p. 15-28.
- Alencáster, G., 1971. Rudistas del Cretácico Superior de Chiapas (Parte I). UNAM Inst. Geol. Paleontol., México, (34) : 1-91.
- Alencáster, G., R. Hernández García, F. García Villegas, 1987. Rudistas hipuritidos (Bivalvia-Hippuritacea) del cretácico superior de la parte central del estado de Guerrero. Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología 1(1) : 24-39.
- Chubb, L. J., 1961. Rudist assemblages in Cuba. Bull. Amer. Paleont., 43 (198) : 413-422.
- Chubb, L. J., 1971. Rudist of Jamaica. Paleontographica Americ., Vol. 7 (45) : 162-257.
- Harris, G. D. y F. Hodson, 1922. The rudists of Trinidad. Palaeontographica Americana, 1 (3) : 119 – 162.
- Höfling, R. y R. W. Scott, 2002. Early and mid-Cretaceous buildups. Phanerozoic reef patterns. SEPM Special Publication No. 72 : 521 – 548.
- Iturralde-Vinent, M. (Ed.), 1996. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. Contrib. Espec. No. 1. IGCP Project 364, Miami, USA. 265 p.
- Iturralde-Vinent, M., 1998. Sinopsis de la constitución geológica de Cuba. Acta Geológica Hispánica 33 (1-4) : 9-56.
- Iturralde-Vinent, M., 2004. La Paleogeografía del Caribe y sus implicaciones para la Biogeografía Histórica: Cretácico a Eoceno Superior. En: M. Iturralde-Vinent (Ed.) Paleogeografía y Biogeografía de Cuba y el Caribe. Museo Nacional de Historia Natural, La Habana. 1ra. Edición Digital (CD ROM).
- Iturralde-Vinent, M., A. de la Torre, 1990. Posición estratigráfica de los Rudistas de Camagüey, Cuba. En: Caribbean Geological Conference (12. : 1990 : St Croix). Transactions 12th Caribbean Geological Conference. -- p. 59-67.
- Masse, J.-P., A. Chartrousse, J. Borgomano, 1998. The Lower Cretaceous (Upper Barremian-Lower Aptian) caprinid rudists from Northern Oman. En: Congrès International sur les Rudistes (4. : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Mém. sp. 22. -- p. 211-224.
- Pantoja-Alor, J. y P. W. Skelton, 1999. Polyconitid rudists from the Mal Paso Formation (Albian - Lower Cenomanian) around Chumbitaro, Guerrero, SW Mexico. En: Congress on Rudist (5. : 1999). Fifth International Congress on Rudists. Abstracts and Field Trip Guides. Erlanger geol. Abh. Vol. Esp. 3. -- p. 45-47.
- Pantoja-Alor, J., 1999. The Michoacán Archipelago: Rudists biostratigraphy and palaeogeography of the Huetamo-San Lucas region, SW Mexico. En: Congress on Rudist (5. : 1999). Fifth International Congress on Rudists. Abstracts and Field Trip Guides. Erlanger geol. Abh. Vol. Esp. 3. -- p. 43-44.
- Pantoja-Alor, J., P. W. Skelton, J.-P. Masse, 1999. Barremian rudists of the San Lucas Formation, around San Lucas, Michoacán, SW Mexico. En: Congress on Rudist (5. : 1999). Fifth International Congress on Rudists. Abstracts and Field Trip Guides. Erlanger geol. Abh. Vol. Esp. 3. -- p. 47-49.
- Philip, J. y J. P. Platel, 1998. Nouvelles espèces de Torreites du Campanien du Haushi-Huqf, Sultanat d'Oman. En: Congrès International sur les Rudistes (4. : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Mém. sp. 22. -- p. 283-294.
- Philip, J., 1999. Description of well-preserved specimens of Macgillavryia Rojas, Iturralde Vinent, Skelton, from the early Campanian of Filim (eastern Oman): Systematics and palaeobiogeographic implications. En: Congress on Rudist (5. : 1999). Fifth International Congress on Rudists. Abstracts and Field Trip Guides. Erlanger geol. Abh. Vol. Esp. 3. -- p. 53.
- Pindell, J. L., y S. F. Barrett, 1990, Geologic evolution of the Caribbean: A plate-tectonic perspective, in G. Dengo, and J. E. Case, eds., The Caribbean Region: The Geology of North America, Geological Society of America, Boulder, Colorado, p. 405-432.
- Pons, J.M., J. H. Schroeder, R. Hofling y E. Muussavian, 1992. Upper Cretaceous rudist assemblages in northern Somalia. Geologica Romana, 28 : 219 – 241.
- Rojas, R., 1999. Productividad de carbonatos en el dominio del Arco Volcánico Cretácico. Tesis (Master en Geología) - Universidad de Pinar del Río, 1999.



- Rojas, R., M. Iturralde-Vinent, P. W. Skelton, 1995. Stratigraphy, Composition and Age of Cuban Rudist - bearing deposits. *Rev. Mex. de Ciencias Geol.* 12 (2). -- p. 272-291.
- Rojas-Consuegra, R. y K. Nuñez-Cambra, 1997. Características de la cobertura Campaniano - Maastrichtiano del arco volcánico extinto en Cuba. En: Furrázola, G. y K. Nuñez. *Estudios sobre Geología de Cuba*. IGP. Edit. Centro Nacional de Información Geológica. -- p. 418-421.
- Rojas-Consuegra, R., 2002. Stratigraphic distribution of rudists's genera in the American province. En: *Caribbean Geological Conference* (16. : 2002 : Barbados). Abstract of the 16th Caribbean Geolog. Confer., Junio 16-21, 2002. Barbados. -- p. 66.
- Rojas-Consuegra, R., 2001. Debritas del Cretácico Superior Albiano en la formación Provincial, Cuba central. En: *Congreso Cubano de Geología y Minería* (4 : 2001 : La Habana). IV Congreso Cubano de Geología y Minería : Geomin 2001 : Memorias, trabajos y resúmenes [CD-ROM]. -- La Habana : CNDIG, 2001. -- p. 11-17
- Rojas-Consuegra, R., 2002. Morphological evaluation of the American Hippuritids. En: *International Congress on Rudist* (6 : 2002 : Croatia). Abstracts book of the 6th International Congress on Rudists. September 29 - October 05, 2002. Rovinj, Croatia.
- Rojas-Consuegra, R., 2003. Morphological evaluation of the American Hippuritids (Rudists, Cuba). En: *Congreso Cubano de Geología y Minería* (5. : 2003 : La Habana). V Congreso Cubano de Geología y Minería : Geomin 2003 : Memorias, trabajos y resúmenes [CD-ROM]. -- La Habana : 2003. -- p. 3-8.
- Rojas-Consuegra, R., 2004. Los Rudistas de Cuba: Estratigrafía, Tafonomía, Paleoecología y Paleogeografía. Tesis doctoral. Biblioteca Nacional de Ciencia y Técnica, La Habana. 180 p.
- Ross, D. J. & P. W. Skelton, 1993. Rudist formations of the Cretaceous: a palaeoecological, sedimentological and stratigraphical review. Blackwell Scientific Publications. Chapter 5, pp. 73-91.
- Santos, H. y P. W. Skelton, 1996. New Antilocaprinids from the Cotui formation of SW Puerto Rico. En: *Congrés International sur les Rudistes* (4 : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Résumés / Abstracts, -- p. 44.
- Scott, R. W. 1990. Models and Stratigraphy of Mid-Cretaceous Reef Communities, Gulf of Mexico, Soc. Econ. Paleon. Miner. Conc. Sedim. Paleont. 2 : 102.
- Scott, R. W., 2002. Albian caprinid rudists from Texas re-evaluated. *Journ. Paleontology* 76 (3) : 408-423.
- Simonpietri, G., J. Philip, J-P. Platel, 1998. Etude statistique des espèces du genre *Vaccinites* (Hippuritacea, Hippuritidae) du Campanien du Sultanat d'Oman. En: *Congrés International sur les Rudistes* (4. : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Mém. sp. 22. -- p. 313-330.
- Skelton, P. W. y J. P. Masse, 2000. Synoptic guide to Lower Cretaceous rudist bivalves of Arabia. En: A. S. Alsharhan y R. W. Scott, ed. *Middle east models of Jurassic / Cretaceous carbonate systems*. -- Tulsa, USA.-- p. 89-99.
- Skelton, P. W. y J. P. Masse, 1998. Revision of the Lower Cretaceous rudist genera *Pachytraga* Paquier and *Retha* Cox (Bivalvia: Hippuritacea), and the origins of the Caprinidae. En: *Congrés International sur les Rudistes* (4. : 1998). Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios, Mém. sp. 22. -- p. 331-370.
- Skelton, P. W. y R. Rojas, 1998. Overview of Rudist Biostratigraphy in the Volcanic Arc Sequences of the Greater Antilles. *Caribbean Geological Conference* (15. : 1998 : Kingston). 15th Caribbean Geological Conference. Abstracts. Kingston, Jamaica. -- p.10-11.
- Skelton, P. W. y V. P. Wright, 1987. A Caribbean rudist bivalve in Oman: Island-Hopping across the Pacific in the late cretaceous. *Palaeontology* 30 (part 3) : 505-529.
- Skelton, P. W., 1988. The trans-Pacific spread of equatorial shallow-marine benthos in the Cretaceous. En: Audley-Charles, M. G., A. Hallam, ed. *Gondwana and Tethys*. Geological Society Special Publication No. 37. -- p. 247-253.
- Skelton, P. W. 1982. Aptian and barremian rudist bivalves of the new world: some old world similarities. *Cretaceous Research* 3 : 145-153.
- Steuber, T., S. F. Mitchell, Dieter Buhl, Gavin Gunter, Haino U. Kasper, 2002. Catastrophic extinction of Caribbean rudist bivalves at the cretaceous-tertiary boundary. *Geology* 30 (11) : 999-1002.
- Tchounev, 1976, en: Tchounev, D. y Tz. Dimitrova, E., 1981. Informe del Levantamiento geológico 1:250 000 de las provincias de Ciego de Avila – Camagüey. ACC-AC de Bulgaria. Oficina Nacional de Recursos Minerales (inédito). La Habana.
- Torre, A. de la, 1960. Nota sobre rudistas. *Mem. Soc. Cubana de Hist. Nat.* 25 : 51-64.



## SIGNIFICACIÓN PALEOGEOGRÁFICA DE LA BRECHA BASAL DEL LÍMITE K/T EN LOMA DOS HERMANAS (LOMA CAPIRO) EN SANTA CLARA, PROVINCIA DE VILLA CLARA, CUBA CENTRAL

Reinaldo Rojas-Consuegra <sup>1</sup>, Manuel A. Iturralde-Vinent <sup>1</sup>, Consuelo Díaz-Otero <sup>2</sup>, Dora García-Delgado <sup>2</sup>, Alfonso Meléndez-Evía <sup>3</sup>, Ana R. Soria <sup>3</sup>

(1) Museo Nacional de Historia Natural. Obispo 61, Plaza de Armas. La Habana, CP10100.Cuba.

E-mail: [rojas@mnhnc.inf.cu](mailto:rojas@mnhnc.inf.cu)

(2) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, CP11000. Cuba.

(3) Universidad de Zaragoza. Edificio Geológicas, Campus "Plaza San Francisco". CP50009, Zaragoza (España) Universidad de Zaragoza, España.

### RESUMEN

En la base de la sección del límite K/T en Loma Dos Hermanas (Loma Capiro), de la Fm. Santa Clara, se destaca una brecha de bloques subangulosos a subredondeados de diferentes rocas (ígneas, vulcano-sedimentarias, sedimentarias y metamórficas) mezcladas, y de variados tamaños; con una fábrica de cantos soportados en una matriz arcillo-lutítica. Entre los clastos hay un 64.0 % de rocas máficas (microgabros, gabros y diabasas), hasta el 30.7 % de rocas volcánicas. Esto sugiere que la fuente de aportes era el cinturón de ofiolitas del norte de Cuba. Esta fuente probablemente se activó a consecuencias del terremoto inducido por el impacto de Chicxulub (K/T), de modo que ocurrieron flujos de detritos (*debris flow*) hacia la cuenca. El contexto paleogeográfico deducido parece confirmar que a finales del Maastrichtiano había comenzado el avance tectónico de los mantos ofiolíticos alóctonos hacia el norte con las cuencas que se desarrollaron sobre dicho substrato.

### ABSTRACT

In the base of the K/T boundary section in Loma Dos Hermanas (Loma Capiro), below the Santa Clara Formation, is exposed a basal breccia of subangular to subredounded blocks of different rocks (igneous, vulcano-sedimentary, sedimentary and metamorphics), of various sizes, in a grain-supported clay-lutitic matrix. The clastic material includes 64.0% of mafic rock elements (microgabbro, gabbro and diabase) and 30.7% of volcanic rocks. This clastic composition suggests that the source was located in the northern ophiolite belt of Cuba. The source area was probably activated as a consequences of the seismic wave induced by the impact at Chicxulub (K/T), producing the debris flow into the basin. This paleogeographic scenario seems to confirm that at the end of the Maastrichtian was already active the tectonic transport of the ophiolites toward the north and the basins developed above it.

### INTRODUCCIÓN

Las investigaciones de los depósitos relacionados con los procesos ocurridos en el límite Cretácico – Terciario (K/T) se han mantenido en Cuba durante los últimos diez años (*Tada et al.*, 2004). Como parte de estos trabajos ha sido confirmada la existencia de una sección del límite K/T dentro de la Fm. Santa Clara (Kantshev *et al.*, 1976), en los afloramientos de la Loma Dos Hermanas (Loma Capiro), en la parte este de la ciudad de Santa Clara, provincia de Villa Clara, Cuba central (Alegret *et al.* 2005a, b).



The geological map of the Santa Fe area, New Mexico, displays a complex arrangement of geological units. The units are color-coded and labeled with abbreviations such as  $mtg K_{1a}-al$ ,  $K_{1a}-al$ ,  $K_{1a}-al-cm$ ,  $J_3-K_1$ ,  $cm$ ,  $K_{1a}-al$ ,  $K_{2m}-P_1$ ,  $mtg K_{1a}-al$ ,  $K_{2on}-cp$ ,  $ts$ ,  $cp$ ,  $stc$ , and  $S_{1a}-al$ . The map also shows topographic features like San Juan, El Gordo, and El Gordo. A red star is placed on the  $K_{2on}-cp$  unit near El Gordo.

Leyenda de colores: Violeta y azul – Asociación Ofiolítica; Verdes en la parte NE – Fm. Provincial y Veloz; verde al centro y oeste – Fm. Mataguá y Gr. Tasajera; naranja – Fm. Santa Clara; y rosado – Fm. Ochoa.

Los limos que forman el techo de la unidad están cubiertos por sedimentos de grano muy fino lutítico-arcilloso, que contiene intraclastos de edad Paleoceno temprano (Daniano). Los microfósiles de las rocas lutíco-arcillosas corresponden al Daniano, de taxones en su mayoría distintos a los que se encuentran en las capas del Cretácico terminal.



En este trabajo se habrá de caracterizar principalmente la brecha basal que aparece en la sección estratigráfica descrita, por su importancia desde el punto de vista paleogeográfico.



Figura 2 Brecha basal de composición polimíctica que caracteriza a la sección del límite KT en Loma Dos Hermanas (Loma Capiro), en la ciudad de Santa Clara. Obsérvese el carácter caótico de los bloques y clastos embebidos en la matriz arcillo-lutítica (tonos claros).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los bloques y cantos de la brecha basal fueron estudiados desde el punto de vista litológico y morfométrico. En dos áreas separadas se realizó la identificación litológica macroscópica de los mismos, se tomaron las mediciones de los ejes mayor y menor directamente en la superficie aflorada de modo aleatorio. Se midieron 114 clastos en total, generalmente mayores de 30 mm; 47 en un área y 67, en otra.

## RESULTADOS

Las principales litologías de los clastos, determinadas a simple inspección en el campo son, según su abundancia: microgabros, diabasas, gabro, vulcanitas no diferenciadas, dacitas, entre otras (Fig. 2 y 3).

### Composición litológica de la Brecha basal



La composición litológica de los clastos en las dos áreas estudiadas es muy semejante (Tabla I), aunque en el área 1 predominan los microgabros y diabasas; y en el área 2 se observa un ligero incremento de las vulcanitas no identificadas, los gabros, y aparecen escasos clastos de calizas y rocas alteradas.



Figura 3 Los bloques y clastos contenidos en la brecha presentan diferentes grados de redondeamiento, unos son subangulosos (debajo, a la izquierda del martillo) y otros subredondeados (a la derecha del pico del martillo).

Tabla I Composición litológica de los clastos de la brecha basal en las dos áreas medidas.

Litología	Área 1	Área 2	Subtotal	%
Microgabros	21	16	37	32.5
Vulcanitas	9	20	29	25.4
Diabasas	11	9	20	17.5
Gabros	5	11	16	14.0
Dacitas	1	5	6	5.3
Roca alter.	0	4	4	3.5
Calizas	0	2	2	1.8
Total	47	67	114	100

La gran mayoría de los clastos estudiados corresponden a rocas ígneas, donde predominan microgabros (32.5 %), vulcanitas no identificadas (25.4 %), diabasas (17.5 %), gabros (14.0 %), y menos de 6 % de las demás litologías: dacitas, rocas alteradas y calizas (Tabla I). Entre estas rocas, las que son propias de las ofiolitas (microgabros, gabros, diabasas), y las restantes, que pueden hacer corresponder a al Complejo efusivo-sedimentario de las propias ofiolitas, representan más del 64 % de los clastos de la brecha basal. Las vulcanitas no identificadas y las dacitas de conjunto alcanzan el 30.7 % (Tabla II).



Tabla II Agrupación de las litologías según su composición general.

Litología	Área 1	Área 2	Subtotal	%
Ofiolitas	37	36	73	64.0
Vulcanitas	10	25	35	30.7
Otras	0	6	6	5.3
Total	47	67	114	100.0

### Grado de redondeamiento de los clastos

Según las formas predominantes de los clastos que componen la brecha, se distinguieron entre ellos dos categorías morfológicas, tomando como referencia su grado de redondeamiento: clastos subangulosos (CSA) y clastos subredondeados (CSR). Tomando en cuenta estas dos categorías se agruparon los clastos de acuerdo a su composición litológica (Tabla III).

Los CSA representan el 64 % y poseen la totalidad, o la mayor parte, de sus aristas e intersecciones terminadas en formas rectilíneas y/o angulosas. La composición litológica de los clastos subangulosos (Tabla III) es comparable a la composición general de la muestra (Tabla I). Dominan los microgabros (39.7 %), las diabasas (20.5 %), le siguen en menor proporción, las vulcanitas en general (16.4 %) y los gabros (13.7 %); mientras las dacitas, las rocas alteradas y las calizas tienen una presencia por debajo del 5 %, respectivamente. Los clastos propios de las ofiolitas representan el 74.0 % de los CSA, más representadas que en la muestra total (Tabla II). Le siguen en presencia, las vulcanitas no identificadas con un 20.5 %, ligeramente menor que en la muestra total. Los clastos de otras composiciones son muy escasos (Tabla IV).

Tabla III Composición litológica de los clastos subangulosos y subredondeados en la brecha basal.

Litología	CSA	%	CSR	%	Subtotal	%
Microgabros	29	39.7	8	19.5	37	32.5
Diabasas	15	20.5	5	12.2	20	17.5
Vulcanitas	12	16.4	17	41.5	29	25.4
Gabros	10	13.7	6	14.6	16	14.0
Dacita	3	4.1	3	7.3	6	5.3
Roca alter.	2	2.7	2	4.9	4	3.5
Calizas	2	2.7	0	0	2	1.8
Total:	73	64	41	36	114	100.0

Los CSR representan el 36 % y poseen la mayoría de sus superficies externas con formas romas, o distintamente redondeadas (Fig. 3). Entre estos clastos las vulcanitas exhiben una alta representatividad (41.7 %), en mayor proporción que en la muestra total (Tablas I y III). Le siguen los microgabros (19.5 %), que están menos representados. Le continúan los gabros (14.6 %), las diabasas (12.2 %), menos que en la muestra total (Tablas I y III). De aquí es obvio que las ofiolitas están significativamente menos representadas (46.3 %) que en la muestra total (Tabla II) y que en los clastos subangulosos (Tabla III). Pero, por otra parte, aparecen con casi



similar representatividad que las vulcanitas (48.8 %) entre los clastos subredondeados (Tabla IV).

Tabla IV Agrupación de los clastos subangulosos y subredondeados según la composición general.

Litología	CSA	%	CSR	%	Subtotal	%
Ofolitas	54	74.0	19	46.3	73	64.0
Vulcanitas	15	20.5	20	48.8	35	30.7
Otras	4	5.5	2	4.9	6	5.3
Total:	73	100.0	41	100.0	114	100

En general, se evidencia que las ofiolitas son el componente principal de la brecha basal, y están presentes en los clastos CSA y CSR, y sólo por debajo de las vulcanitas no identificadas en los CSR. En cambio, las vulcanitas son, en general, el componente secundario en la brecha basal (30.7 %), pero predominante entre los clastos subredondeados (48.8 %), lo cual parece relacionarlas con el aporte de otro flujo procedente de una fuente distinta.

#### Variabilidad en el tamaño de los clastos

La textura caótica de la brecha basal de Loma Capiro se comprueba a simple vista en el afloramiento (Fig. 2 y 3), pero para cuantificar este aspecto se agruparon los clastos de acuerdo a su tamaño en intervalos de 30 mm. Entonces se evidencia que en la brecha predominan los CSA con un tamaño que varía desde 60 (rango de 31-60 mm) hasta 150 mm, y son más escasos los de 180-210 mm, y más grandes (240-480 mm). Raramente aparecen bloques mayores de 600 mm (Fig. 4).

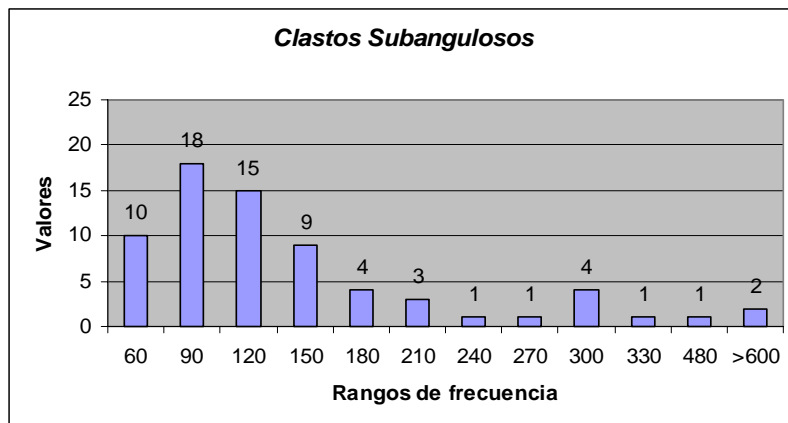


Figura 4 Distribución de frecuencia de los tamaños de los clastos subangulosos

Por otro lado, entre los CSR predominan los clastos de menores tamaños (rango de 31-60 mm), y en menor proporción aparecen los de mayores medidas (61 y 180 mm); donde son aún más escasos los de mayores tamaños (Fig. 5).

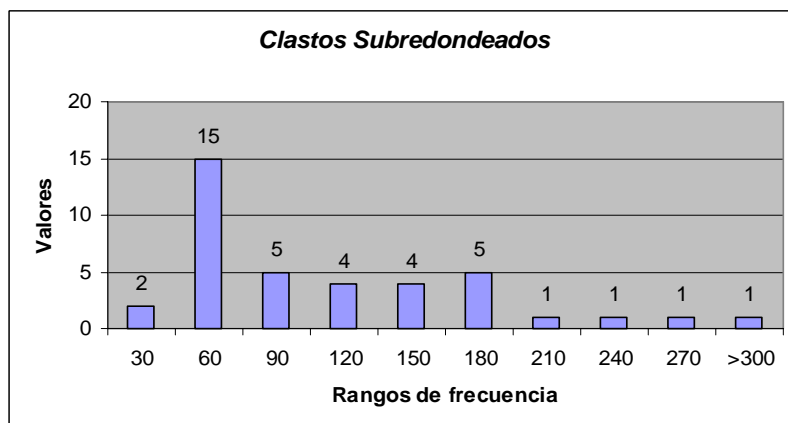


Figura 5 Distribución de frecuencia de los clastos subredondeados

Respecto a la muestra total, se revela que el tamaño predominante de los clastos en la brecha va desde menos de 60 hasta 180 mm, con un máximo destacado en el rango entre 31-60 mm. Asimismo hay una tendencia general a la disminución paulatina de la cantidad de los clastos a medida que aumenta su tamaño, siendo escasos los clastos en el rango de 181-270 mm o mayores (Fig. 6).

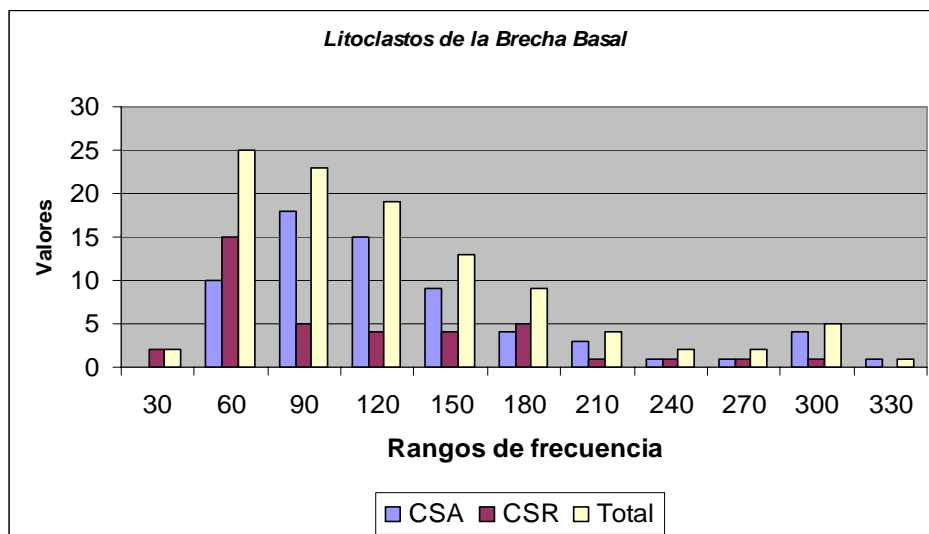


Figura 6 Distribución de los clastos subangulosos (CSR) y subredondeados (CSA), según los valores de frecuencia por rangos establecidos respecto a la muestra total.

Los clastos de 500 a 1000 mm, o mayores, son muy raros en la brecha. Sin embargo, se destaca un megaclasto de metamorfita no identificada que alcanza 3.20 m por 1.25 m (Fig. 7); cientos de veces mayor que el tamaño medio del resto de los clastos medidos.

## DISCUSIÓN

Las diferencias observadas en la composición y tamaño de los clastos de la brecha entre las dos áreas estudiadas (Tabla I), pudieran mostrar la variabilidad y la heterogeneidad general que la caracterizan, tal vez relacionadas con un relativamente bajo grado de madurez del depósito, en función de la escasa selección observada en esta parte del cuerpo litológico.





La composición de los clastos sugieren que hubo una fuente de aportes bimodal, compuesta por ofiolitas y vulcanitas de arco, o de vulcanitas de la propia asociación ofiolítica. El predominio de las litologías propias de las ofiolitas (Tabla II), particularmente en la fracción subangulosa, sugiere que la fuente de aporte de los clastos, debió ser una exposición de estas rocas muy cercana a la zona de acumulación. Asimismo, el predominio de los CSA sobre los CSR (Tabla III) parece atestiguar que la deposición ocurrió relativamente cercana al lugar desde donde se originó el flujo de clastos, como se dijo, probablemente desde una escarpa submarina dentro de la propia cuenca, probablemente relacionada con un talud tectónico.



Figura 7 Megabloque subredondeado de roca metamorfozada, de color verde, por cloritización, emplazado dentro de la brecha basal (compárese el matillo de ~ 33 cm con las flechas).

De otro lado, la ausencia de clastos de las calizas del Maastrichtiano (Plataforma Cubana) que usualmente aparecen en las formaciones del KT en el occidente de Cuba (Fm. Peñalver, Tada *et al.*, 2004), y el dominio de clastos que son raros en aquellas, sugieren que la Formación Santa Clara se acumuló en condiciones distintas.

Los CSR sugieren que existió otra fuente de aporte, relativamente más alejada que la de los CSA, bastante similar en composición, pero con clastos de vulcanitas probablemente del Arco Volcánico del Cretácico. No obstante, no se puede descartar la posibilidad de que el aporte de clastos volcánicos provenga de las secciones superiores (oceánicas) de las ofiolitas, que están



bien desarrolladas en esta región (Fig. 1). Sólo mediante el estudio geoquímico de estos clastos se podrá determinar con precisión su procedencia.

La brecha basal se interpreta que fue depositada por un flujo detrítico gravitacional, producido por un derrumbe submarino de grandes proporciones. Este tipo de evento es provocado por la ocurrencia de terremotos, en este caso relacionado con la onda de choque del impacto de Chicxulub, Yucatán.

Así, el talud de la cuenca pudo colapsar, ante el impacto de las ondas sísmicas, arrastrando consigo partes de las escarpas submarinas generadas por las fallas asociadas a los desplazamientos de las ofiolitas hacia el Norte.

A continuación se acumularon las rocas lutítico-arcillosas a una profundidad de entre 500 y 2000 m (Alegret *et al.*, 2005b), debido a la decantación del material detrítico disperso en las aguas por el deslizamiento submarino, y el proveniente de la atmósfera (fuente balística) como son las microtektitas, cuarzo de choque, etc.

## CONCLUSIONES

La composición de los clastos de la brecha basal del depósito del K/T de Loma Capiro, sugiere que su acumulación ocurrió en una cuenca formada por un substrato compuesto por las rocas de la Asociación Ofiolítica, al menos parcialmente. Se evidencia que aquel substrato ya presentaba un significativo relieve irregular el cual colapsó probablemente a consecuencias del sismo generado por el impacto de Chicxulub (K/T), produciéndose un flujo de detritos que incluyó diversos componentes de las ofiolitas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alegret L., Arenillas I., Arz J.A. Díaz C., Grajales M., Meléndez A., Molina E., Rojas R. y Soria A. R. (2005a) New Cretaceous/Paleogene boundary section in Central Cuba: evidence for the Chicxulub impact. Comunicación póster. General Assembly. European Geosciences Union. Viena (Austria). 24-29/04/2005. Internacional.
- Alegret, L., Arenillas, I., Arz, J. A., Díaz, C., Grajales, M., Meléndez, A., Molina, E., Rojas, R. y Soria, A. R. (2005b) Cretaceous / Paleogene (K/Pg) Boundary deposits in Central Cuba: new multidisciplinary evidence for a K / Pg impact origin. *Geology* (en prensa).
- Iturralde-Vinent, M., (1998) Sinopsis de la constitución geológica de Cuba: *Acta Geológica Hispánica*, 33 (1-4): 9–56.
- Kantshev, I.; Boyanov, I.; Goranov, A.; Iolkichev, N.; Cabrera, R.; Kanazirski, M.; Popov, N. y Stanchea, M. 1976. Geología de la provincia de Las Villas. Resultados de las investigaciones geológicas y levantamiento geológico a escala 1:250 000, realizado durante el período 1969- 1975. Brigada Cubano- Búlgara. Inst. Geol. Paleont., Acad. Cienc. Cuba, La Habana (inédito).
- Kerr, A. C., M. A. Iturralde-Vinent, A. D. Saunders, T. L. Babbs, and J. Tarney (1999) A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban Mesozoic volcanic rocks: *Geolog. Society of America Bulletin*, 111(11): 1581-1599.
- Pushcharovki, Yu. (ed.) (1988): Mapa geológico de la República de Cuba a escala 1: 250 000. Academias de Ciencia de Cuba y la URSS.
- Tada, R., M. A. Iturralde-Vinent., T. Matsui., E. Tajika., T. Oji., K. Goto., Y. Nakano., H. Takayama., S. Yamamoto., S. Kiyokawa., K. Toyoda., D. Garcia-Delgado., C. Diaz-Otero., R. Rojas-Consuegra., (2004) K/T boundary deposit in the proto-Caribbean basin. *American Association of Petroleum, Geologists Memoir*, 79: 582-604.





## LA GEOMEDICINA EN CUBA

Laureano Orbera Hernández

*Centro Nacional de Medicina Natural y Tradicional. Calle 44 esquina 5ta.Ave. Miramar,Playa.  
e.mail.ichingli2002@yahoo.es*

La salud y su relación con el medio físico es la línea de trabajo de la geomedicina en Cuba actualmente.

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar lo que sé esta haciendo y se ha hecho en nuestro país en el campo de la geología aplicada a la salud humana.

Los objetivos particulares se relacionan con: la definición de enfermedades a partir de una perspectiva ambiental, comprender cuales son los factores geológicos relacionados con la salud, obtener un mínimo de conocimiento sobre la relación que existe entre medio geológico y enfermedades crónicas no transmisibles, conocer los problemas relacionados con los minerales tóxicos, conocer sobre las radiaciones telúricas y su influencia sobre los seres humanos, estar capacitado para analizar los problemas de salud relacionados con la penetración del radón en las viviendas y conocer el alcance del riesgo en el proceso de evaluación y manejo del riesgo a la exposición a materiales tóxicos en el medio ambiente.

Para la realización de este trabajo se han utilizado los datos de la estadística médica obtenida en centros asistenciales y los levantamientos geoambientales realizados por el autor.

A modo de conclusión se puede afirmar que se han encontrado relaciones marcadas entre los fenómenos geológicos y las enfermedades crónicas no transmisibles.



## **GEOBIOLOGÍA, RADIESTESIA Y SALUD HUMANA: UNA TRÍADA DE VIDA O MUERTE.**

**Virgilio Mainegra Frenero<sup>(1)</sup>, Iraida Pino Román<sup>(2)</sup>**

(1) Empresa Geominera Centro. Carr. Malezas km 2½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

(2) Clínica Estomatológica Docente. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

### **RESUMEN**

Las enfermedades tienen causas diversas, pero también se originan al ubicarse personas durante un tiempo prolongado en zonas geopatógenas de la superficie terrestre, expuestas a radiaciones provenientes del interior del planeta, del cosmos y del desarrollo tecnológico-industrial, sin que pacientes ni médicos comprendan las causas reales de sus enfermedades.

La Geobiología estudia la influencia nociva de estas radiaciones cósmico-telúricas y tecnológicas sobre lo vivo, incluida la salud del hombre. La Radiestesia es la técnica que detecta las radiaciones del más variado origen, con el hombre como sensor biológico, o con registradores eléctricos.

De la tríada GEOBIOLOGÍA-RADIESTESIA-SALUD HUMANA depende la vida o muerte de muchas personas. A mayor comprensión y uso de la Geobiología y la Radiestesia en la detección de zonas geopatógenas, más vidas podrán salvarse.

Se determinaron zonas geopatógenas en salas del Hospital Provincial, del Hospital Militar de Santa Clara y otros. Se cambiaron de lugar camas y equipos de tratamiento situados en zonas geopatógenas y al cabo de 6 meses la respuesta clínica positiva de los pacientes ubicados en las nuevas locaciones era superior en cantidad (93% de los casos) a la obtenida cuando aún no se habían realizado los desplazamientos (45%), y la velocidad de recuperación fue notablemente superior.

Debe implementarse el uso racional de la Geobiología y la Radiestesia en la determinación de zonas patógenas en establecimientos de salud, escuelas, oficinas, hoteles, casas de vivienda, etc. en todo el país para contribuir así a salvar muchas vidas y a elevar la calidad de otras.

### **ABSTRACT**

Illness have diverse causes, but it also could be originate when people are located in pathogenic areas of the terrestrial surface during a long time, exposed to radiation coming from the interior of the planet, from cosmos and from technologic-industrial electric hardware, and neither patient nor doctors understand the actual causes of their illnesses.

Geobiology studies the noxious influence of these cosmic-telluric and technological radiation on the alive beings, included man's health. Radiestesy is the technique that detects the radiation of the most varied origin, with man as a biological sensor, or with electric detectors.

The triad GEOBIOLOGY-RADIESTESY-HUMAN HEALTH control the life or many people's death. As better understanding and use of Geobiology and Radiestesy you get in the detection of pathogenic areas, more lives will be able to survive.

Pathogenic areas were determined in rooms of the Provincial and Military Hospitals of Santa Clara City, and others. Beds and treatment equipment were changed from places when located in pathogenic areas.. After 6 months a positive clinical answer from patients located in the new areas was superior in quantity (93% of the cases) to these obtained when they had not still been carried out from their original locations (45%), and the recovery speed was notably superior.

It should be implemented the rational use of Geobiology and Radiestesy in the determination of pathogenic areas in health establishments, schools, offices, hotels, houses, etc., in the whole country to contribute this way to save many lives and to elevate their quality.

## INTRODUCCIÓN

Las enfermedades pueden originarse por muy diversas causas, tanto físicas como síquicas, internas o externas al individuo. Algunas de éstas pueden ser el estrés (con su negativa influencia sobre la inmunidad humana), los malos hábitos alimentarios (alimentación deficiente o incorrecta), la vida sedentaria y alejada de la práctica del deporte, la polución ambiental (del aire, del agua y de los alimentos que consumimos), los vicios y excesos en el consumo de agentes tóxicos (alcohol, tabaco, drogas), y la agresión al individuo por agentes externos a él, tales como factores climáticos, insectos, hongos, bacterias, virus, etc.<sup>1</sup>

Desde hace relativamente poco tiempo se ha podido establecer la estrecha relación que existe entre diversas enfermedades, tales como distintos tipos de tumores cancerosos, mal de Parkinson, malformaciones de fetos, insomnio, migraña, depresión nerviosa, reumatismo, úlceras, afecciones de órganos como el hígado, páncreas, bazo, riñones, etc., y la ubicación del enfermo durante tiempo prolongado en ciertas regiones de la superficie terrestre denominadas “zonas geopatógenas”.

Esta otra importante causa de enfermedad, aún poco estudiada, se debe a la concentración de radiaciones nocivas en dichos lugares. Unas provienen del interior de nuestro planeta, a las que se les denominan “radiaciones telúricas” (producidas por el campo magnético terrestre, fallas, desplazamiento de aguas subterráneas), otras llegan del cosmos y son denominadas “radiaciones cósmicas” (producidas por los rayos cósmicos) y un buen número de radiaciones nos llegan desde los productos de nuestro desarrollo tecnológico-industrial “civilizado” (producidas por equipos emisores de radiaciones electromagnéticas, bancos de transformadores, líneas de alto voltaje, tuberías soterradas conductoras de agua, petróleo, etc.).

Así, hay un gran número de personas que están padeciendo dolencias contraídas debido a su prolongada permanencia en zonas geopatógenas y expuestas a estas nefastas radiaciones, sin que los enfermos ni los propios médicos comprendan las causas reales de sus enfermedades.

Esta última causa de enfermedad –las radiaciones cósmico-telúricas y tecnológicas–, es un factor de extraordinaria importancia a tener en cuenta a la hora de hacer un programa de salud oficial. Pero lamentablemente, éste es un hecho científico ignorado o poco conocido y, por lo tanto, no tomado en consideración oficialmente por la mayoría de las autoridades de salud de nuestro país.

Por esta razón nos hemos propuesto realizar una serie de determinaciones de zonas geopatógenas en establecimientos de salud de nuestra ciudad y desplazar a enfermos y equipos de tratamiento fuera de esas zonas para de esa manera demostrar que, con el cambio, los enfermos se recuperan con mayor prontitud y los tratamientos resultan de mayor efectividad.

---

<sup>1</sup> Bassler Guido S., 2001. Las Influencias Cosmotelúricas sobre la Salud. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente artículo utiliza la información procedente de varias publicaciones sobre el tema, sobre todo aquellas relacionadas con la influencia de las zonas geopatógenas sobre la salud humana y los métodos de su detección y corrección. También se ha utilizado la información contenida en revistas internacionales especializadas, editadas por el Fondo de Población de las Naciones Unidas (FNUAP). Los materiales empleados consistieron en varillas de metal (aluminio, cobre y acero), de 40 cm de largo con un mango en "L" de 10 cm, envainado en un cilindro del mismo metal que la varilla, para que ésta pudiera girar libremente, con el menor rozamiento posible. Se utilizó también una brújula de campo para la debida orientación de las edificaciones respecto al Norte geográfico, así como una cinta métrica para el levantamiento topográfico de las mismas y la ubicación de los medios respecto a las zonas geopatógenas. El método empleado es el comparativo y el de analogías.

La *Geobiología* es el campo del conocimiento humano que se ocupa del estudio de la influencia nociva de las radiaciones existentes en la superficie terrestre (de origen cósmico-telúrico y tecnológico) sobre todos los seres vivos: plantas y animales, incluido el hombre, y por tanto, sobre su salud.

La *Radiestesia*, que etimológicamente quiere decir "sensibilidad a la radiación", es una técnica que usa la propiedad de biorrecepción de los seres vivos con el propósito de la detección de las radiaciones del más variado origen; esto se logra mediante la intervención del hombre como sensor biológico (empleando indicadores mecánicos), o también con el empleo de registradores eléctricos. Esta técnica no es nada nueva, y los pueblos antiguos ya la conocían. Los primeros antecedentes conocidos de la aplicación de la Radiestesia se remontan al antiguo Egipto, donde, según numerosas evidencias, se utilizó en la solución de tareas relacionadas con la construcción de las pirámides<sup>2</sup>. Y en la antigua China, según investigaciones arqueológicas, ya en fecha tan distante como el año 2200 a.n.e., es decir desde hace más de 4000 años, la aplicaban para localizar yacimientos minerales y aguas subterráneas.

Los pueblos antiguos tenían mucho conocimiento sobre este tema y sus sacerdotes sabían detectar muy bien determinados lugares especiales de la superficie terrestre con una muy alta concentración de energía, debido a la coexistencia de fuertes cruces de anchas líneas de fuerza principales del campo magnético terrestre, vetas de aguas subterráneas, fallas geológicas por donde ascendían emanaciones de gases con isótopos radiactivos, etc., ubicando allí sus altares. En Europa los Celtas y luego los Romanos buscaron estos lugares para construir sus santuarios y sus templos. En América, especialmente los Mayas, así como los Aymarás, y más tarde los Incas, ubicaron sus pirámides y sus lugares sagrados siempre sobre tales sitios<sup>3</sup>. Nosotros tenemos la experiencia de que en nuestro país también la Iglesia Católica ha sabido aprovechar esos lugares para sus finalidades y ha ubicado el altar mayor de sus catedrales e iglesias siempre sobre estos puntos especiales, lo cual le transmitía al sacerdote que allí se colocara, una gran exaltación y una enorme ascendencia sobre todos los feligreses, ya

---

<sup>2</sup> Domínguez D. E., L. Lufriú, I. Padilla, 2001. Contribución de la Radiestesia al Mejoramiento de la Calidad de Vida de los Seres Humanos. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.

<sup>3</sup> Cores Uría, P., 2001. Arquitectura y Lugares Sagrados. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.

que ellos sabían como canalizar y transmitir la energía recibida con el fin de que su bendición fuera curativa. La moderna práctica del Reiki también toma en cuenta la existencia de estas zonas de concentración de la energía cósmico-telúrica.

Así, la Geobiología nos dice que la exposición a largo plazo del ser humano a las radiaciones telúricas provenientes de fallas, de corrientes de aguas subterráneas, de la fricción por inercia entre el núcleo y manto (redes de Hartmann y Curry), de las radiaciones cósmicas provenientes de la profundidad del cosmos, no tanto de los soles como de las nebulosas, y de las radiaciones eléctricas y electromagnéticas artificiales creadas por el hombre, tales como las líneas aéreas de transporte y distribución eléctrica de alto y medio voltaje, las líneas eléctricas subterráneas, los transformadores, antenas de distribución de radio y televisión (microondas), etc., son causantes de serios daños a la salud humana. Nuestro organismo normalmente tiene la capacidad de neutralizar los efectos de esas interferencias con ayuda del sistema endocrino. Sin embargo, cuando estamos durante mucho tiempo expuestos a estas radiaciones geopatógenas, como lo puede ser el lugar de dormir o de trabajar, esto va debilitando nuestras defensas y destruye el sistema inmunológico, generando las enfermedades más diversas, desde insomnio o jaquecas hasta las dolencias más graves, como el cáncer, mal de Parkinson, Alzheimer, etc., y por más que se medique, esto no tendrá ningún efecto y no hay solución si no se eliminan las causas fundamentales del mal<sup>4</sup>, que como se sabe, se debe a largas exposiciones en zonas geopatógenas.

Millones de personas que viven en las grandes ciudades y que están expuestas diariamente a estas radiaciones, logran sin embargo vivir de una cierta forma razonablemente bien. Estas personas, durante una parte del día no están directamente expuestas a esas anomalías, practican deportes, andan a pie, duermen en locales con energía equilibrada o trabajan en locales sin energías nocivas. Sin embargo, muy pocos son los que consiguen vivir y trabajar en locales preservados bióticamente durante las 24 horas del día. El problema mayor es la exposición a energías nocivas durante largos años, y con la edad, por encima de los sesenta, es que comienzan a surgir las enfermedades, como hubo de ocurrirle al autor del presente trabajo. A esta edad ya la persona camina menos, ya no practica deportes, permanece más tiempo en el interior de los locales, etc., y la acumulación de las disfunciones generadas por la permanente insalubridad, se transforman en dolencias. Y lo más importante de todo esto es que las personas no conocen los motivos que las llevaron a contraer tales enfermedades. Es preciso, en este sentido, que las personas aprendan a observarse y a observar los locales donde conviven diariamente. Por esta razón es necesario desarrollar una ágil sensibilidad ante el medio y poder diagnosticar los locales donde se viva o se trabaje durante largas horas, y así de esta manera buscar soluciones para curarse o poder disminuir los efectos negativos de esa exposición diaria a las radiaciones de energías nocivas<sup>5</sup>.

Y la Radiestesia es el mejor instrumento para descubrir esos lugares “geopatógenos”, y que nos permite detectar de forma adecuada las anomalías nocivas del medio, distinguirlas y clasificarlas, es decir, es una técnica capaz de diagnosticar lo que está afectando directamente a las personas. La Radiestesia permite darle explicación al hecho

---

<sup>4</sup> Bassler Guido S., 2001. Geología, Geobiología y Radiestesia. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.

<sup>5</sup> Alves De Almeida, Marcos, 2001. Radiestesia Aplicada a la Geobiología. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.

del por qué alguien se siente mal en un local o por qué algunos prefieren desviarse de un lugar hacia dónde se dirigen. En este sentido la Radiestesia tiene la función de amplificar las energías captadas por los seres humanos.

Para detectar las energías microvibratorias el radiestesista usa instrumentos tales como el péndulo, las varillas de zahorí y registradores eléctricos.

Los animales evitan dormir en los locales donde existan radiaciones nocivas. No es por casualidad que los antiguos, cuando iban a construir una casa en el campo, primero esperaban a ver dónde es que el ganado se tendía a dormir durante la noche, para entonces construir allí su morada. El hombre moderno ya no valora sus propias percepciones, utilizando solamente su intelecto racional y limitado. Y la Radiestesia es simplemente una amplificación de las percepciones de los seres humanos, y por lo tanto, el instrumento más eficaz en la detección de las energías microvibratorias, que tiene la capacidad de captar la interacción entre el objeto observado y el observador. La utilización de la Radiestesia es de suma importancia como instrumento de captación de los efectos nocivos emitidos por las fuerzas microvibratorias (radiaciones nocivas), invisibles y nefastas para los seres vivos.

La aplicación de las técnicas de la Radiestesia en la solución de disímiles tareas de la esfera de las ciencias técnicas y naturales, así como en la solución de innumerables problemas de salud, le ha hecho ganar el interés y respeto de importantes profesionales y especialistas del mundo, sobre todo cuando se trata de desarrollar las investigaciones con limitados recursos económicos y en un corto plazo de tiempo<sup>2</sup>.

El reconocimiento internacional de la Radiestesia está basado en los resultados de su actividad práctica en la ciencia, la tecnología y el cuidado y protección de la salud humana<sup>6</sup>.

### **Geobiología-Radiestesia-Salud Humana**

Hasta ahora todo lo que se ha dicho trata, ni más ni menos, de la tríada GEOBIOLOGÍA-RADIESTESIA-SALUD HUMANA, de la cual depende la vida o muerte de muchas personas. En la medida en que reconozcamos y aceptemos la verdad científica que enseña la Geobiología y que pasemos a tomar medidas urgentes con el amplio empleo de la Radiestesia en la detección de las zonas geopatógenas, seremos capaces de salvar muchas vidas, o por el contrario, si ignoramos o despreciamos estas realidades, podremos precipitar a muchas personas a una muerte inminente o a una vida de muy poca calidad, llena de dolencias y sufrimientos.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se procedió a determinar las zonas geopatógenas en la Sala de Gerontología y en la Clínica del Dolor del Hospital Provincial de Santa Clara y en la Sala de Medicina Física y Rehabilitación del Hospital Militar de la propia ciudad. Se realizó el levantamiento de las líneas de Hartmann y Curry y se estableció la presencia de varias conductoras subterráneas de agua, así como la existencia de un sistema de fallas paralelas. En

---

<sup>6</sup> Dubrov A. P. 2001. Modern Advances in Dowsing. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.



determinados lugares estos accidentes geológico-industriales del subsuelo coincidían con la ubicación en la superficie de algunos medios de tratamiento a los enfermos, tales como lámparas de calor, ultrasonido, campo magnético, pulsos eléctricos, acupuntura y energía piramidal. Se cambiaron de lugar camas y equipos de tratamiento situados en las zonas geopatógenas detectadas.

Al cabo de 1-3 meses la respuesta clínica positiva de los pacientes ubicados en las nuevas locaciones fue superior en cantidad (93% de los casos) a la obtenida cuando aún no se habían realizado los desplazamientos (45%), y la velocidad de recuperación fue notablemente superior.

Los tratamientos eléctricos y magnéticos demoraron un poco más (aproximadamente 3 meses) en demostrar su respuesta positiva al cambio de locación, mientras que los tratamientos con calor, acupuntura y energía piramidal, dieron una rápida respuesta ante el cambio (entre quince días y un mes).

Al detectar la presencia de zonas geopatógenas en la Clínica Estomatológica Docente, debido a la coincidencia de poderosas líneas de Hartmann y tuberías soterradas de agua y energía eléctrica, no se recomendó la reubicación de los complejos estomatológicos (unidades dentales y sillón), ya que los mismos son utilizados solo temporalmente, y el paciente no necesariamente tiene que ser sometido a tratamientos continuos a largo plazo. Solo en el caso de la ubicación del Salón de Láser y el Salón de Periodoncia, debido a la repetitividad de los tratamientos, se recomendó que la ubicación de las camillas de los pacientes se dispusieran en el interior del cuadrante de las líneas de Hartmann donde, además, no hubiera otro tipo de interferencia. En el Salón de Láser, ya al cabo de una semana, se observó que la aplicación del láser en el tratamiento de las odontalgias, alveolitis, hiperestesias, síndrome doloroso de ATM, estomatitis subprótesis, aftas bucales, fistulas y abscesos periapicales, etc., éste resultaba más eficaz de lo que hasta el momento había sido, y en vez de tener que realizar 10 o más sesiones, con la mitad o menos, se resolvían positivamente las mismas patologías. Una situación semejante se obtuvo en el Salón de Periodoncia, cuando al realizar raspados y alisados, gingivectomías, gingivoplastias, papilectomías, eliminación de colgajos mucogengivales, etc., la remisión de las dolencias resultaba mucho más rápida. Se constató que los procesos de cicatrización ahora ocurrían en un tiempo mucho menor que el tiempo que hasta el momento anterior a la reubicación del sillón se necesitaba para darle de alta a un paciente.

También se hizo un levantamiento de las zonas geopatógenas en la Clínica Biotérea del Instituto Superior de Ciencias Médicas de Santa Clara, donde se realizan experimentos con animales de laboratorio. Allí se comenzó un experimento con ratones, a los cuales se les inoculan determinadas afecciones y luego se procede a curarlos con medicina tradicional y natural (MTN). Se quiso experimentar además con la acción positiva de la energía piramidal aplicada a los ratones enfermos. Mediante la ubicación de la Red de Hartmann y otros accidentes geológico-industriales (una falla, una corriente de agua subterránea bastante superficial y varios caños de desagüe y tuberías soterradas) haciendo uso de la Radiestesias, se aconsejó la ubicación de los ratones y las pirámides fuera de los nudos o las líneas de acción geopatógena. Se ubicó debajo de pirámides a un grupo de los ratones tratados, el 50%, y como blanco de comparación se ubicó un 25% fuera de las zonas geopatógenas y fuera de las pirámides. Al otro 25%, que tampoco se sometió a la acción de la energía piramidal, se ubicó, además en la coincidencia de nudos de la Red de Hartmann y otros accidentes geopatógenos. Los resultados fueron impresionantes. Los ratones ubicados dentro de la pirámide

respondieron positivamente al tratamiento con MNT en un 92%, mientras que los ubicados fuera de la pirámide, pero fuera también de la acción geopatógena, la respuesta positiva fue de un 57%. Y de los ratones ubicados fuera de la pirámide y sometidos a la acción geopatógena, sólo se salvó un escaso 6%.

De los resultados obtenidos se evidencia la importancia del establecimiento de las zonas geopatógenas en las instituciones de salud del país, de manera que puedan evitarse muchas complicaciones y puedan viabilizarse los tratamientos a las personas enfermas. En los casos de las personas de la tercera edad tratadas en las Salas de Gerontología y en la Clínica del Dolor del Hospital Provincial, se pudo observar que la reubicación de los lugares de tratamiento incidió en un mayor número de personas mejoradas en tiempos relativamente menores.

En el caso del Hospital Militar, en su sala de Medicina Física y Rehabilitación, se observó una notable mejoría en el caso de los tratamientos con calor, acupuntura y energía piramidal, no así en los tratamientos con procedimientos electromagnéticos, cuyos resultados, aunque positivos, demoraron más en poderse establecer.

En la Clínica Estomatológica Docente, aunque la reubicación excluyó los complejos estomatológicos dedicados a operatoria, por motivos obvios, y se redujo solo a los tratamientos con láser y cirugía periodontal, los resultados obtenidos también nos dan una magnitud de la importancia de establecer las zonas geopatógenas en estos establecimientos de salud.

Por último, pero no menos importantes, son los resultados obtenidos en los animales de laboratorio de la Clínica Biotérea del Instituto Superior de Ciencias Médicas. La acción nociva de las zonas geopatógenas se hizo más que evidente, al potenciar la influencia nefasta de las enfermedades inoculadas a los ratones que fueron ubicados en los nudos de la Red de Hartmann y fuera de las pirámides, cuya acción positiva, a su vez, en los procesos curativos de los otros ratones es indiscutible.

## **CONCLUSIONES**

La primera y más importante y única conclusión se refiere a la imperiosa necesidad de realizar levantamientos radiestésicos con el objetivo de establecer zonas geopatógenas en todos los lugares que colectivos humanos tengan que permanecer durante largos períodos expuestos a radiaciones cósmico-telúricas nocivas.

En nuestro país deberían tomarse medidas que implementen la propaganda y el uso racional de la Geobiología y la Radiestesia y su amplia aplicación en la determinación de zonas patógenas en establecimientos de salud, escuelas, oficinas, hoteles, casas de vivienda, etc., para así de esta manera, contribuir a salvar muchas vidas y a elevar la calidad de vida de otras.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Alves De Almeida, Marcos, 2001. Radiestesias Aplicada a la Geobiología. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.
- Bassler Guido S., 2001. Las Influencias Cosmotelúricas sobre la Salud. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.
- Bassler Guido S., 2001. Geología, Geobiología y Radiestesias. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.
- Cores Uría, P., 2001. Arquitectura y Lugares Sagrados. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.
- Domínguez D. E., L. Lufriú, I. Padilla, 2001. Contribución de la Radiestesias al Mejoramiento de la Calidad de Vida de los Seres Humanos. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.
- Dubrov A. P. 2001. Modern Advances in Dowsing. Memorias del VI Congreso de Geología y Minería, La Habana.



## UTILIZACIÓN DE LA RADIESTESIA EN LA INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS, UN EJEMPLO DE ESTUDIO: FABRICA BUCANERO.

**Fidel Prieto Castro, Leodegario Lufriú Díaz, Rubén Stout Smith, Valia Suárez Leyva, Jesús Moya Rodríguez, Eladio Kessel Herrera.**

*Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca No. 1002 / Línea de Ferrocarril y Prolongación de Calzada de Guines, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana. E-mail: [fidel@igp.minbas.cu](mailto:fidel@igp.minbas.cu).*

### RESUMEN

Se trata sobre la interpretación de datos geofísicos y radiestésicos con fines ingeniero geológicos en un terreno destinado a la construcción de una fábrica. Los datos de la radiestesia en la variante Biopotencial(Bp) fueron representados en mapas de perfiles e isolíneas, esta particularidad lograda en Cuba permite comparar los datos de la radiestesia con cualquier magnitud física georeferenciada. La interpretación de los datos se realizó en primer lugar mediante la comparación de los resultados de la radiestesia con los métodos eléctricos y la Sísmica. La interpretación del mapa de isolíneas facilitó una rápida idea de la tectónica en general del área de interés, así como las zonas con posibilidad de fenómenos cárscicos, esta idea preliminar fue sometida a verificación con los datos de geofísica. De esta manera la radiestesia aporta una información geológica preliminar que en general a escala 1:1000 no se dispone.

El procedimiento de interpretación empleado permitió obtener un mapa de resultados con la tectónica general del área, las zonas con peligro de Carso, las zonas de máximo agrietamiento etc. Se muestra un ejemplo donde la interpretación propone una posible cueva inundada por el agua.

### ABSTRACT

It talks on the interpretation of geophysical data and dowsing to geologic ends engineer in a land dedicated to the construction of a factory. The data of the dowsing in the varying Biopotencial(Bp) they were represented in maps of profiles and isolíneas, this particularity achieved in Cuba allows to compare the data of the dowsing with any magnitude physical georeferenciada.

The interpretation of the data was carried out in the first place by means of the comparison of the results of the dowsing with the electric methods and the Seismic one. The interpretation of the isolíneas map facilitated a quick idea of the tectonic one in general of the area of interest, as well as the areas with possibility of phenomenon's kartsicos, this preliminary idea was subjected to verification with the geophysics data. This way the dowsing contributes an information geologic preliminary that in general to scale 1:1000 doesn't prepare.

The used interpretation procedure allowed to obtain a map of results with the tectonic general of the area, the areas with danger of karts, the areas of maximum cracking etc. are shown an example where the interpretation proposes a possible cave flooded by the water.

### INTRODUCCIÓN

El trabajo trata sobre la interpretación conjunta de los datos geofísicos y radiestésicos con fines ingeniero geológicos en un terreno destinado a la construcción de una fábrica donde la tarea a resolver fue la siguiente:

- Determinar las características ingeniero geológicos del terreno.
- Determinar el espesor de los horizontes de cobertura.
- Ubicación y delimitación de zonas de agrietamiento y fracturación. Estudio general de los fenómenos cárscicos.

- Aporte de información que permita un mejor conocimiento de las características hidrogeológicas del área.
- Estudio de la influencia del manto freático en la estabilidad de la obra.

El área fue estudiada con la variante de la radiestesia con varillas y con el multímetro digital, variante Biopotencial (Bp).

Esta interpretación se realizó mediante la comparación de los resultados de la radiestesia con los métodos eléctricos y la Sísmica, donde la interpretación preliminar del mapa de isolíneas de Bp, da una idea preliminar de la tectónica general del área de interés así como las zonas con posibilidades de fenómenos cársicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Métodos y equipos utilizados*

No.	METODO	EQUIPO	PRECISION
1	Radiestesia (Bp)	Multímetro digital STEREN 602-010	$\pm 0,1 \text{ mV}$
2	Métodos Eléctricos	Geotrón Omega 25	$\pm 0,1 \text{ mV}$
3	Sísmica	Estación Sísmica Mc Seis 170	

En el área de estudio se trazó la red de perfiles utilizando topografía instrumental, levantamiento con teodolito y cinta. La distancia entre perfiles fue de 40 m y la distancia entre puntos de 20 m. Todos los perfiles fueron amarrados a una magistral, que se ubicó paralela a la carretera del Instituto de Ciencia Animal (ICA). Los perfiles fueron numerados desde el 0 hasta el 40.

El área fue estudiada con la variante de radiestesia con varillas en L, en todos los perfiles de forma continua, y de forma discreta con el multímetro digital en puntos cada 20 m. Para controlar la variación diurna de la radiación cósmica (Lufriú L. 1999), se midieron los puntos de inicio de cada perfil al comienzo y al final de cada recorrido, de esta manera los tiempos de control de la variación externa fueron del orden de 20-30 minutos. Los datos de biopotencial fueron corregidos por variaciones y se nivelaron por métodos matemáticos a un nivel único. En general, el objetivo de la radiestesia en variante de varillas fue la determinación de la dirección de los flujos de las aguas subterráneas, así como la obtención de una información continua del perfil. La radiestesia en variante biopotencial permitió obtener un registro discreto digital para estudiar las variaciones de densidad del medio natural subyacente.

El Perfilaje Eléctrico Simétrico (PES), se utilizó en la variante simple con una abertura de  $AB = 80 \text{ m}$  y  $MN = 10 \text{ m}$ , con paso de medición 20 m. Durante los trabajos de campo, se evitó que las líneas de alimentación y medición se cruzaran, manteniéndose una distancia entre ellas de un metro como mínimo. Se repitieron las mediciones siempre que se registraban variaciones bruscas de la resistividad. Además de este método eléctrico se realizaron dos puntos de Sondeo Eléctrico Vertical en variante Circular (SEVC), con el objetivo de estudiar la máxima dirección de agrietamiento, con un  $AB \text{ máx.} = 130 \text{ m}$ . Se realizaron 8 puntos de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) normal con el mencionado AB. El objetivo de los SEV fue estudiar en profundidad, las diferentes capas geoelectricas, incluyendo el manto freático. Los SEV paramétricos ubicados en los pozos, se realizaron para establecer una correlación entre las variaciones de la resistividad con la profundidad y las columnas geológicas de los pozos.

Una vez concluidos los trabajos de campo, diariamente se procesaban los datos en el gabinete, y se obtenían mapas de gráficos e isolíneas a escala 1: 1000. Estos materiales permitieron ubicar los perfiles donde se necesitaba emplear la sísmica de refracción.

La elaboración de los datos se realizó con el Sistema de Procesamiento y Mapeo GEOSOFT de facturación canadiense.

El método de Sísmica, en su variante de refracción, fue ejecutado en dos perfiles de 360 m y dos tramos de 120 m, para un total de 8 puestas. La fuente de energía utilizada fue la mecánica, con utilización de mandarina.

Para escoger el sistema de observación óptimo, se realizó una puesta experimental de donde se seleccionó como idóneo, para la solución de la tarea ingeniero - geológica planteada, un sistema de observación con  $\Delta x = 5$  m y tiros de avance, encuentro, central y remotos a aproximadamente 60 m fuera del tendido. En ocasiones durante el trabajo, fue necesario la repetición de diferentes tiros, debido a la presencia de mucho ruido (flujo de transporte aéreo y terrestre) cerca del lugar de trabajo, así como de zonas con pérdida de energía, lo que podía redundar en la no-obtención de sismogramas de calidad.

Posteriormente, en el trabajo de gabinete y a partir de los mencionados sismogramas, fueron construidos los hodógrafos (distancia contra tiempo), donde se plotean los distintos ejes de cofasidad anteriormente correlacionados. Como resultado de la interpretación de los mismos, fueron obtenidos los cortes de velocidad para los perfiles estudiados, donde se aprecia la profundidad a la frontera refractora (R), y la distribución de velocidades a lo largo dicha frontera. Teniendo en cuenta que la velocidad de la frontera depende de las propiedades físicas de la capa refractora, esto nos permite un pronóstico de la composición litológica y la ubicación estratigráfica de la misma, aún cuando ésta refleja sólo las propiedades de la parte del corte que se encuentra inmediatamente cerca de este límite.

Para el ploteo de los cortes de velocidad, a escala horizontal 1: 1000 y 1: 500, fue utilizado el Software Grapher.

#### Datos reales

Se realizaron 8 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) en los siguientes puntos:

PERFIL	ESTACA	No. SEV
32	6	5
32	12	1
32	17	14
32	22	9
32	26	2
20	12	10
12	12	3
12	24	4

Se realizaron dos Sondeos Eléctricos Circulares (SEVC) en los siguientes puntos:

PERFIL	ESTACA	No. SEVC
32	12	1
20	12	2



La Sísmica de Refracción (SR) se realizó en los siguientes perfiles:

PERFIL	ESTACA
8	12-24
12	0-36
24	8-20
32	0-36

Toda la información anterior se encuentra representada en el Anexo 1 (Mapa de Datos Reales).

## RESULTADOS

- *Radiestesia*

Las variaciones de Bp en general se asocian a las variaciones de densidad de las rocas subyacentes (Lufriú L. 1999). En el área estudiada hemos considerado que las variaciones de Bp están relacionadas con las siguientes causas principales:

- 1- Variaciones en el relieve del substrato rocoso.
- 2- Fenómenos cársticos
- 3- Accidentes tectónicos

La interpretación del mapa de isolíneas e imagen de Bp, ha permitido proponer dos direcciones principales de alineaciones tectónicas, y varias alineaciones tectónicas secundarias, además de 5 zonas de mínimos relativos que se reflejan en el mapa de isolíneas de Bp por anomalías menores de 35 mV, con geometría aproximadamente circular, asociadas a probables fenómenos de carcificación. El sistema tectónico del área nos permite proponer 4 bloques principales, que se reflejan claramente por zonas de valores bien diferenciados de Bp. Los bloques más levantados se caracterizan en general por valores de Bp mayores de 37 mV y los bloques hundidos por valores menores de 37 mV. El valor mínimo de Bp fue de 21 mV y el máximo de 51 mV. El valor de 37 mV representa la moda de la distribución de los datos.

Respecto a la circulación de las aguas la radiestesia con varillas en varios perfiles ha detectado flujos de agua en una dirección aproximada N-S, lo que además permite inferir que uno de los sistemas principales del agrietamiento de las rocas calizas presentes en la zona de estudio, coincide con dicha dirección.

- *Métodos Eléctricos*

Las variaciones de la resistividad eléctrica se asocian fundamentalmente a las siguientes causas:

- 1- Variaciones en el relieve del substrato rocoso.
- 2- Fenómenos cársticos
- 3- Accidentes tectónicos
- 4- Influencia del manto freático

Según los resultados del Perfilaje Eléctrico Simétrico (PES), se observa que el área de los trabajos se puede dividir en dos grandes subzonas, separadas por una fractura tectónica de dirección E-W. En la subzona Norte se observan los valores más altos (mayores de 35 Ohm-m) que se pueden interpretar como un acercamiento del substrato calizo a la superficie o como un aumento del agrietamiento y la carsificación de las calizas; otra explicación pudiera ser el aumento de los procesos de dolomitización. La subzona Sur se caracteriza por un predominio de los valores más bajo de resistividad que se interpreta en general como un aumento del espesor de la capa de arcilla saturada. Se pueden observar valores de resistividad menores de 10 Ohm/m, que se

asocian a zonas de acumulación de las aguas subterráneas, como se refiere en el corte transversal, por la Estaca 12 entre el SEV 3, SEV 1 y SEV 10 .

Por los SEV son definidas tres capas, con características geoelectricas diferentes, que desde la superficie hacia la profundidad ocupan el siguiente orden: arcillas, arcillas + calizas (zona cavernosa) y calizas masivas. La primera capa de arcillas tiene valores de resistividad entre 15 – 30 Ohm-m y tienen un espesor medio de 2-4 m. La segunda capa, tiene un espesor muy irregular entre 1-6 m con valores de resistividad entre 10-15 Ohm-m (capa colectora de las aguas freáticas). La tercera capa representada por calizas masivas en ocasiones dolomitizadas, se caracteriza por tener valores de resistividad mayores de 100 Ohm-m y el techo de las mismas según los resultados de los sondeos se determinan a una profundidad que oscila entre los 6 y los 9 m. En la tabla, que se muestra a continuación, son presentados los datos obtenidos en la interpretación de las curvas de SEV.

#### *Interpretación de los SEV*

SEV	UBICACION	NIVEL FREATICO (m)	ESPESOR 1 CAPA (m)	ESPESOR 2 CAPA (m)	PROFUNDIDAD 3 CAPA (m)
1	P - 32 est. 12	3.0	0-2	2-6	6
2	P - 32 est. 26	2.0	0-4	4-9	9
3	P - 12 est. 12	4.5	0-3	3-7	7
4	P - 12 est. 24	4.0	0-2.5	2.5-8	8
5	P - 32 est. 6	3.0	0-2	2-4.5	4.5
9	P - 32 est. 22	3.0	0-4	4-8	8
10	P - 20 est. 12	3.5	0-2	2-5.5	5.5
14	P - 32 est. 18	2.5	0-2	2-8.5	8.5

En el Anexo 8 se observa la correlación de los SEV con las columnas geológicas de los pozos.

Desde el punto de vista tectónico se definen dos sistemas de fallas predominantes: uno E-W y otro N-S, coincidiendo este último con la dirección de máximo agrietamiento determinado por los SEV circulares realizados en los perfiles 20 y 32.

- *Sísmica de refracción*

El método de sísmica de refracción permite estudiar las siguientes variables del medio:

1. Variaciones en el relieve de la frontera refractora.
2. Accidentes tectónicos
3. Fenómenos cárlicos

En la zona estudiada, en general las fronteras refractoras son mapeadas con profundidades entre los 3 y los 9 metros, donde la velocidad media de la capa suprayacente al refractor está entre los 1000 m/seg. En cuanto a las velocidades de frontera, hay alternancia de valores disímiles en correspondencia con la caliza más o menos masiva y una mayor o menor presencia del manganeso. Por otra parte la presencia de discontinuidades en la frontera refractora en conjunto con velocidades menores, pueden constituir indicadores de zonas de fracturación. Es válido señalar que para considerar definitiva esta última característica, es imprescindible la conciliación con los restantes métodos aplicados en la investigación.

Descripción por perfiles:

Perfil 12 –El espesor promedio de la capa suprayacente al refractor es de unos 7.3 m con velocidades entre 950 y 1000 m/seg. Existe alternancia de las velocidades de frontera, las cuales fluctúan entre los 2100 y los 2800 m/seg, relacionándose los valores de velocidad más altos con la caliza masiva, parcialmente dolomitizada. Cuando esta caliza se encuentra más fragmentada entonces es correlacionable con los valores más bajos de velocidad. Existe presencia a lo largo del perfil, de 3 zonas en la frontera refractora con discontinuidades, en menor o mayor grado abruptas, como es mostrado en la Fig.3, lo que puede ser asociado a presencia de zonas de fracturas.

Perfil 32 – La profundidad media a la frontera refractora es de unos 4.8 m, con velocidades entre 850 y 950 m/seg. Las velocidades de capa alternan entre los 3000 y los 2100 m/seg. Zona de marcada discontinuidad en la frontera refractora entre las estacas 22 y 24 (ver Fig. 4). Otras tres zonas de discontinuidades están presentes a lo largo del perfil, aunque no de carácter tan abrupto.

A continuación nos referiremos a dos tramos o puestas de ~120 m cada una realizadas en dos perfiles independientes: el P-8 y el P-24. Los mismos fueron ejecutados con el objetivo de detallar zonas de interés detectadas por los métodos de Resistividad y Biopotencial aplicados con antelación en la investigación.

Perfil 8 – Comportamiento bastante homogéneo de las velocidades a lo largo del tramo estudiado. La velocidad de capa con un promedio de 1000 m/seg. y la de frontera, alrededor de los 2500 m/seg., (Fig. 3). El espesor medio de la capa suprayacente a la frontera refractora es de unos 6.5 m. Discontinuidad en la frontera alrededor de la estaca 15, aunque no es muy significativa.

Perfil 24 – Se mapea la frontera refractora a una profundidad promedio de 6.3 m. La velocidad de frontera presenta muy poca variación, y se mantiene en el orden de los 2200 m/seg. En cuanto a la velocidad media de la capa que suprayace, los valores fluctúan alrededor de los 950 m/seg. En la frontera refractora alrededor de la estaca 9, está presente una discontinuidad, no muy significativa.

- *Interpretación Integrada de los datos*

La interpretación integrada de los datos se realizó en primer lugar, mediante la comparación de los resultados de la Radiestesia, los Métodos Eléctricos y la Sísmica. Se ha utilizado además la información geológica obtenida por los pozos realizados de manera previa.

**Perfil 12:** Al comparar el horizonte refractor (R), que en nuestra área se corresponde con el substrato rocoso de calizas y la respuesta de Bp, es observable una correspondencia casi exacta entre las variaciones de Bp y el relieve de la frontera R. En el intervalo de las estacas 4-10, se nota un hundimiento del substrato rocoso que llega hasta 9m, los valores de Bp tienen una tendencia a disminuir y los valores de resistividad aumentan bruscamente. La situación anterior se ha interpretado como una zona carcificada con posibilidad de existencia de oquedades aireadas o rellenas con arcilla como es descrita en el pozo 4.

De las estacas 10-16 se observa un acercamiento relativo de la frontera R, que se corresponde con los valores aumentados de Bp, los valores de resistividad hasta la estaca 14 se mantienen elevados como consecuencia del acercamiento de la frontera R. De la estaca 16 –22, existe una disminución de la resistividad, provocados por el agua subterránea.

Por la interpretación realizada de los datos obtenidos podemos dar las siguientes conclusiones:

- ♦ La zona de estudio está dividida por dos sistemas principales tectónicos de direcciones N-S y E- W. Existen una serie de fracturas secundarias de dirección N-S y grietas que fueron detectadas asociadas a los flujos de aguas subterráneas.
- ♦ Sobre la base de los Sondeos Eléctricos Verticales Circulares se determinó la dirección de máximo agrietamiento, N-S.

La Sísmica de refracción determinó que la frontera Refractora, varía entre 3- 9 m

De las estacas 24-30 se observa un hundimiento relativo de la frontera R, con mínimo de Bp y máximo de resistividad, lo que puede interpretarse como una zona carcificada con posibilidad de ocurrencia de oquedades. De la estaca 30 hasta el final la frontera, R se acerca a la superficie y los valores de Bp y de resistividad aumentan.

**Perfil 32:** En el intervalo de las estacas 0-5 se nota un hundimiento de la frontera R que se corresponde con una ligera disminución de Bp, los valores de resistividad se asocian a la tectónica. En el intervalo de las estacas 5-18 existe un acercamiento de la frontera R. Los valores de Bp presentan un ligero incremento, la resistividad en este intervalo baja, pero debido al agua subterránea. De las estacas 18-24 la frontera R se hunde ligeramente, en este caso las respuestas de Bp se asocian a una frontera más profunda que fue detectada por SEV; por otra parte los valores de resistividad se asocian a la tectónica. De la estaca 24 hasta el final del perfil la frontera R se mantiene más o menos estables y los valores de Bp comienzan a aumentar por encima de los 40 mV.

Debido a la complejidad de la geología interpretada a partir de las mediciones obtenidas en el perfil, se hizo necesario utilizar el corte realizado con los datos de SEV. Las respuestas de los métodos empleados tienen un carácter más complejo ya que por debajo de la frontera R probablemente exista una zona cavernosa y otra secuencia de frontera geológica, además de que existe una marcada influencia del agua subterránea y la tectónica.

Por los datos de SEV se detecta una zona posiblemente cavernosa entre las estacas 6-18, entre los 6-10 m de profundidad. Esta interpretación se ajusta también a los datos de Bp.

**Perfil 8:** El tramo comprendido entre las estacas 12-24 se detalló con el Método de Sísmica para estudiar dos zonas de anomalías: una primera de máximos de resistividad y Bp, y una segunda de máximo de resistividad y mínimo de Bp. De esto resultó, que a partir de la estaca 15 se acerca ligeramente la frontera refractora a la superficie, en coincidencia con la primera zona de interés mencionada. En el caso de la segunda zona, a partir de la estaca 22 comienza un hundimiento de la frontera R, en correspondencia con el mínimo de Bp y el máximo de resistividad, este último posiblemente provocado por zonas aireadas.

**Perfil 24:** En este caso se proyectó una puesta de Sísmica para aclarar la presencia de un mínimo de Bp y una zona de valores alternantes de resistividad. Del análisis realizado de los datos sísmicos, resultó que a partir de la estaca 16 hasta la 19 se observa un hundimiento de la frontera R que coincide con un mínimo de Bp, mientras la resistividad se asocia a una zona de valores elevados.

Teniendo en cuenta los patrones de respuestas obtenidos, se proponen 5 zonas que se corresponden con mínimos de Bp, aumento de la resistividad y aumento de la profundidad de la frontera R. En los casos donde hay ausencia de datos de Sísmica, se ha utilizado el criterio de analogía.

De la misma forma, se señalan las direcciones de los flujos de aguas subterráneas, en algunos casos coincidentes con las alineaciones tectónicas. En los casos de ausencia de coincidencia siempre podrá considerarse que las aguas circulan por grietas aunque no estén señaladas.

## DISCUSIÓN

En la interpretación de los datos en el Perfil32, en el intervalo de las estacas 18-24 vemos que la frontera R se hunde ligeramente, pero la respuesta de Bp no se corresponde, está asociada a una frontera más profunda la que fue detectada por el Sondeo Eléctrico Vertical(SEV) y que los valores de resistividad se relacionan con la tectónica. Suponiendo que por debajo de la frontera R exista una zona cavernosa con una marcada influencia de agua subterránea se llega a concluir que la respuesta de Bp es el reflejo del piso de la caverna con presencia de agua.

La radiestesia con varillas ha detectado que la dirección de los flujos de agua es aproximadamente N-S coincidiendo este con los resultados de los SEV circulares donde la dirección de máximo agrietamiento es la misma.

El uso de la Radiestesia cada vez más ha ido ganando adeptos en cuanto a su utilización, se ha demostrado con numerosos ejemplos que aporta una valiosa información que ayuda a simplificar el uso de otros métodos mas costosos, lo que esto se traduce en ahorro de recursos.

## CONCLUSIONES

- ♦ La frontera refractora determina en muchos casos los aumentos y disminuciones de Bp y de la resistividad, y por estar formada por rocas calizas puede servir de firme en las construcciones, salvo en zonas donde la frontera pueda constituir el techo de una cavidad o estar afectada por fenómenos cársicos o tectónicos.
- ♦ Se han detectado 5 zonas carcificadas, con probabilidades de constituir oquedades. La zona 1 presenta un mínimo de Bp muy intenso al norte de 22 mV. Esta zona debe tenerse en cuenta con especial atención.
- ♦ En el perfil 32, se presenta un caso donde la frontera R es por la interpretación de SEV y los datos de pozo, el techo de una caverna. La información de Bp y de resistividad se corresponden a la idea mencionada.
- ♦ Las zonas de mayor humedad deben estar relacionadas con los lugares de mayor acumulación de agua, dichas zonas se corresponden en general con los valores de resistividad menores de 10 Ohm-m.
- ♦ La interpretación de los datos de la Radiestesia ha permitido obtener una idea preliminar de los fenómenos de riesgo para las construcciones y ha facilitado la interpretación de los datos geofísicos.

## RECOMENDACIONES

- 1- Se propone perforar las 5 zonas cársicas, y la posible zona cavernosa del perfil 32 en los siguientes puntos:

### *Pozos recomendados*

<b>No. del Pozo</b>	<b>Perfil</b>	<b>Estaca</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
5	0	24	396638	344131
6	8	26	396644	344056
7	12	6	396450	344092
8	20	2	396396	344032
9	20	26	396612	343927
10	24	18	396521	343923
11	32	14	396477	343863
12	32	16	396495	343854

### **BIBLIOGRAFÍA**

Lufriú L.,1999,. Fundamentos y Aplicaciones de los Sensores Biológicos en las Investigaciones Geofísicas.  
Tesis Doctoral. ISPJAE.